

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Jakov Stošić

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec, dipl. ing.

Student:

Jakov Stošić

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći isključivo stečena znanja tijekom studiranja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje te služeći se navedenom literaturom.

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Lovorki Grgec Bermanec, dipl. ing. na ukazanom povjerenju i pruženoj stručnoj pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se poduzeću Vage d.o.o. što mi je ustupilo svoj umjerni laboratorij za masu za nesmetano provođenje mjerenja za moj diplomski rad.

Također se zahvaljujem gospodinu Janku Peraniću, dipl. ing. i gospodinu dr. sc. Antunu Benčiću, dipl. ing. koji su mi svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogli prilikom obrade podataka mjerenja potrebnih u diplomskom radu.

Od srca se zahvaljujem svojoj obitelji, svojoj djevojci i svim prijateljima na pruženoj potpori tijekom studiranja.

Jakov Stošić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **JAKOV STOŠIĆ** Mat. br.: 0035185856

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje vaga u tehničkom i zakonskom mjeriteljstvu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing of weighing instruments in industrial and legal metrology**

Opis zadatka:

Vage kao mjerila mase koriste se u tehničkom, zakonskom i znanstvenom mjeriteljstvu. Određivanje mjeriteljskih značajki bitno se razlikuje u zakonskom i tehničkom mjeriteljstvu, pa tako jedna te ista vaga ovisno o tome u koju svrhu se koristi može biti umjerena ili ovjerena. U ovom radu potrebno je opisati i usporediti postupke umjeravanja, ovjeravanja, procjene mjerne nesigurnosti te odrediti prednosti i nedostatke kod oba pristupa. Potrebno je provesti mjerenja na barem jednoj vagi visokog razreda točnosti i objasniti uvjete prihvatljivosti mjernih rezultata.

U radu koristiti postojeću mjernu opremu umjernog laboratorija za masu poduzeća Vage d.o.o. te razmotriti mogućnosti poboljšanja.

Potrebno je izraditi:

- Teorijske osnove mjerenja mase.
- Pregled normi i uputa za umjeravanje i ovjeravanje vaga.
- Opis etalonske mjerne opreme za umjeravanje i ovjeravanje vaga.
- Opis postupka ovjeravanja.
- Opis postupka umjeravanja i potrebnih korekcija.
- Postupak procjene mjerne nesigurnosti umjeravanja i ovjeravanja.
- Primjere rezultata provedenih umjeravanja i ovjeravanja.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

5. svibnja 2016.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Rok predaje rada:

7. srpnja 2016.

Predviđeni datumi obrane:

13., 14. i 15. srpnja 2016.

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKE OSNOVE MJERITELJSTVA I MJERENJA MASE.....	2
2.1. Mjeriteljstvo	2
2.1.1. Znanstveno mjeriteljstvo.....	2
2.1.2. Tehničko mjeriteljstvo	3
2.1.3. Zakonsko mjeriteljstvo.....	4
2.2. Infrastruktura kvalitete	4
2.2.1. Međunarodna infrastruktura kvalitete	4
2.2.2. Europska infrastruktura kvalitete	6
2.2.3. Infrastruktura kvalitete Republike Hrvatske	7
2.3. Mjerenje mase	9
2.3.1. Oprema za mjerenje mase	10
2.3.1.1. Utezi	10
2.3.1.2. Vage	11
2.3.2. Metode mjerenja mase	12
2.3.2.1. Izravno očitavanje mjerenja	13
2.3.2.2. Mjerenje mase s razlikom	13
2.3.2.3. Mjerenje mase usporedbom	14
2.3.2.4. ABA postupak.....	14
2.3.2.5. ABBA postupak	14
2.3.2.6. Ciklično mjerenje mase.....	15
3. POSTUPCI ISPITIVANJA VAGA U MJERITELJSTVU	16
3.1. Postupak ovjeravanja	16
3.1.1. Potrebno osoblje i oprema za provođenje postupka ovjeravanja.....	21
3.1.1.1. Potrebno osoblje.....	21
3.1.1.2. Potrebna oprema	21
3.1.2. Radna uputa za provođenje postupka ovjeravanja.....	23
3.1.2.1. Ispunjavanje osnovnih podataka	23
3.1.2.2. Određivanje NDP - a.....	24
3.1.2.3. Provjera točnosti ništice i ispitivanje vaganja.....	24
3.1.2.4. Ispitivanje vaganja s tarom	24
3.1.2.5. Ispitivanje ekscentričnosti.....	25
3.1.2.6. Ispitivanje pokretljivosti	25
3.1.2.7. Ispitivanje ponovljivosti.....	26
3.1.3. Tumačenje rezultata i završne radnje u postupku ovjeravanja	26
3.1.4. Određivanje mjerne nesigurnosti u postupku ovjeravanja.....	27

3.2. Postupak umjeravanja	28
3.2.1. Potrebno osoblje i oprema za provođenje postupka umjeravanja	28
3.2.2. Pripremne radnje prije provođenja postupka umjeravanja	28
3.2.2.1. Čišćenje vage	28
3.2.2.2. Postavljanje vage u vodoravan položaj	28
3.2.2.3. Uključivanje i provjera funkcionalnosti	29
3.2.2.4. Aklimatizacija utega	29
3.2.3. Radna uputa za provođenje postupka umjeravanja	30
3.2.3.1. Zagrijavanje vage	30
3.2.3.2. Predopterećenje vage	30
3.2.3.3. Kontrola točnosti	30
3.2.3.4. Ispitivanje ponovljivosti	30
3.2.3.5. Ispitivanje ekscentričnosti	31
3.2.3.6. Ispitivanje vaganja	31
3.2.4. Određivanje mjerne nesigurnosti u postupku umjeravanja	32
3.2.4.1. Mjerne nesigurnosti zbog parametara vage	33
3.2.4.2. Mjerne nesigurnosti zbog utjecaja etalona	35
3.2.4.3. Kombinirana mjerna nesigurnost postupka umjeravanja	38
3.2.4.4. Proširena mjerna nesigurnost postupka umjeravanja	38
4. PRIKAZ REZULTATA MJERENJA I PRORAČUNA MJERNE NESIGURNOSTI OVJERAVANJA I UMJERAVANJA	40
4.1. Rezultati postupka ovjeravanja	41
4.1.1. Mjerni rezultati postupka ovjeravanja	41
4.1.2. Procjena mjerne nesigurnosti ovjeravanja	44
4.2. Rezultati postupka umjeravanja	45
4.2.1. Mjerni rezultati postupka umjeravanja	45
4.2.2. Procjena mjerne nesigurnosti umjeravanja	46
4.3. Usporedba rezultata postupka ovjeravanja i umjeravanja	53
5. ZAKLJUČAK	55
LITERATURA	56

POPIS SLIKA

Slika 1. Kategorije mjeriteljstva.....	2
Slika 2. Lanac sljedivosti	3
Slika 3. Prikaz cikličnog mjerenja mase	15
Slika 4. Moduli za ocjenu sukladnosti	17
Slika 5. Oznaka sukladnosti	20
Slika 6. Utezi razreda točnosti F1	21
Slika 7. Termometar.....	22
Slika 8. Rukavice i hvataljke.....	22
Slika 9. Točke ispitivanja ekscentričnosti	25
Slika 10. Vaga proizvođača RADWAG tipa PS 2100. R2.....	40
Slika 11. Osnovne karakteristike vage PS 2100. R2	40
Slika 12. Prikaz pogreške (E) i proširene mjerne nesigurnosti postupka ovjeravanja	45
Slika 13. Prikaz pogreške (E) i proširene mjerne nesigurnosti postupka umjeravanja.....	53
Slika 14. Usporedba proširenih mjernih nesigurnosti postupaka ovjeravanja i umjeravanja ..	54

POPIS TABLICA

Tablica 1. Određivanje razreda točnosti neautomatskih vage.....	18
Tablica 2. Najveće dopuštene pogreške	19
Tablica 3. Tablica sa osnovnim podacima	23
Tablica 4. Točnost ništice i ispitivanje vaganja	24
Tablica 5. Oznake koje se stavljaju na mjerilo nakon ovjeravanja	27
Tablica 6. Vrijeme aklimatizacije utega u satima	29
Tablica 7. Ispitivanje vaganja.....	32
Tablica 8. Najveće dopuštene pogreške etalonskih utega (M_{pe} u mg)	36
Tablica 9. Prividna promjena mase zbog utjecaja konvekcije	37
Tablica 10. Određivanje faktora pokrivanja k	39
Tablica 11. Osnovni podaci o korisniku i vagi.....	41
Tablica 12. Mjerni rezultati provjere točnosti ništice i ispitivanja vaganja	42
Tablica 13. Mjerni rezultati ispitivanja vaganja s tarom	42
Tablica 14. Mjerni rezultati ispitivanja ekscentričnosti	43
Tablica 15. Mjerni rezultati ispitivanja pokretljivosti	43
Tablica 16. Mjerni rezultati ispitivanja ponovljivosti	44
Tablica 17. Mjerni rezultati postupka umjeravanja.....	46
Tablica 18. Rezultati mjernih nesigurnosti zbog ispravka nazivne mase	48
Tablica 19. Prikaz mjernih nesigurnosti postupka umjeravanja	52

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
β	%	razina povjerenje
d	kg	radni podjeljak vage
d_0	kg	radni podjeljak vage pri ništici
d_I	kg	radni podjeljak vage pri određenom opterećenju vage
$ \Delta I_{ecc,i} _{\max}$	kg	najveća apsolutna greška između očitavanja na sredini i na kutevima mjerne plohe vage
Δm	kg	razlika mase
ΔT	K	razlika temperature
δm_B	kg	ispravak zbog uzgona
δm_c	kg	ispravak nazivne mase
δm_{conv}	kg	ispravak zbog utjecaja konvekcije
δm_D	kg	ispravak zbog mogućeg klizanja mase
E	kg	pogreška vaganja
e	kg	ispitni podjeljak vage
I	kg	pokazivanje vage
I_i	kg	i-to pokazivanje vage
I_{\max}	kg	maksimalno pokazivanje vage
I_{\min}	kg	minimalno pokazivanje vage
\bar{I}	kg	aritmetička sredina pokazivanja vage
i	-	indeks pojedinačnog mjerenja
k	-	faktor pokrivanja
L	kg	ispitni teret
L_{ecc}	kg	ispitni teret pri ispitivanju ekscentričnosti
Max	kg	maksimalna sposobnost vaganja
Min	kg	minimalna sposobnost vaganja
Mpe	kg	najveća dopuštena pogreška etalona
m	kg	prava masa
m_c	kg	konvencionalna ili dogovorena masa
m_N	kg	nazivna masa
m_{ref}	kg	referentna masa
NDP	kg	najveća dopuštena pogreška
n	-	broj mjerenja
n_i	-	i-to mjerenje
P	kg	ispitni teret
R	kg	masa etalona
ρ_0	kg/m ³	gustoća zraka

ρ_r	kg/m ³	gustoća referentnog etalona
ρ_t	kg/m ³	gustoća ispitnog tijela
s	kg	standardna devijacija
T	kg	tara teret
T_k	K	temperaturni koeficijent vage
t_{ref}	K	referentna temperatura
U	kg	proširena mjerna nesigurnost
$U(E)$	kg	proširena mjerna nesigurnost postupka umjeravanja
$U_{\text{ovjeravanje}}$	kg	proširena mjerna nesigurnost postupka ovjeravanja
$u(\delta I_{\text{dig0}})$	kg	mjerna nesigurnost zbog pogreške pokazivanje pri ničtici
$u(\delta I_{\text{digL}})$	kg	mjerna nesigurnost zbog pogreške pokazivanja pri opterećenju vage
$u(\delta m_B)$	kg	mjerna nesigurnost zbog utjecaja uzgona
$u(\delta m_C)$	kg	mjerna nesigurnost zbog ispravka nazivne mase
$u(\delta m_{\text{conv}})$	kg	mjerna nesigurnost zbog utjecaja konvekcije
$u(\delta m_D)$	kg	mjerna nesigurnost zbog klizanja mase
u_{eks}	kg	mjerna nesigurnost zbog utjecaja ekscentričnosti vage
u_i	kg	i-ta mjerna nesigurnost postupka umjeravanja
u_{pon}	kg	mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti vage
v_{eff}	-	efektivni broj stupnjeva slobode
v_i	-	broj stupnjeva slobode i-tog doprinosa mjernoj nesigurnosti
w_t	kg	masa ispitnog tijela

SAŽETAK

Ovim diplomskim radom detaljno je prikazano ispitivanje vaga, odnosno mjerila mase u tehničkom i zakonskom mjeriteljstvu. U uvodnom dijelu rada prikazane su potrebne teorijske osnove mjeriteljstva i mjerenja mase za što bolje shvaćanje problematike rada. Zatim su opisana dva glavna postupka ispitivanja mjerila mase, umjeravanje i ovjeravanje, te su izrađene radne upute prema kojima će se izvršiti postupci ispitivanja na jednoj neautomatskoj vagi visokog razreda točnosti. Kao dodatak tome izrađeni su proračuni za određivanje mjernih nesigurnosti postupaka ispitivanja. Nadalje, prikazani su mjerni rezultati i rezultati proračuna mjernih nesigurnosti provedenih postupaka umjeravanja i ovjeravanja. Na kraju rada uspoređene su proračunate mjerne nesigurnosti postupaka ispitivanja i objašnjeni su uvjeti prihvatljivosti rezultata.

Ključne riječi: mjeriteljstvo, umjeravanje, ovjeravanje, vaga, mjerna nesigurnost

SUMMARY

With this diploma thesis it is in detail presented testing of scales or weighing instruments in technical and legal metrology. In the introductory part of paper are presented the necessary theoretical basis of metrology and measuring mass for better understanding of the thesis problems. After that are described two main test procedures for weighing instruments, calibration and verification, and there are described work instructions according to which are executed testing procedures on one non-automatic high precision class scale. In addition to that there are made calculations for determine measurement uncertainties of the test procedures. Furthermore, there are presented measurement results and calculation results of measurement uncertainties of the conducted procedures, calibration and verification. At the end of the thesis, calculated measurement uncertainties of testing procedures are compared and the conditions of results eligibility are explained.

Key words: metrology, calibration, verification, scale, measurement uncertainty

1. UVOD

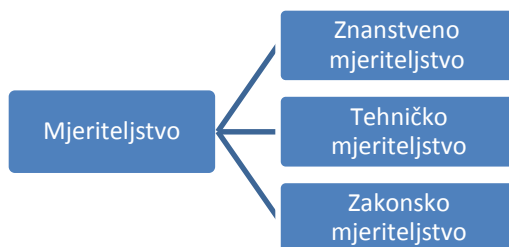
Mjerila mase kao što su vage i utezi koriste se za svakodnevna mjerenja u zakonskom i tehničkom mjeriteljstvu. Zakonsko mjeriteljstvo je onaj dio mjeriteljstva koji je reguliran Zakonom o mjeriteljstvu (NN 74/14) i drugim pravilnicima. Sva mjerila koja se koriste za mjerenja u zakonskom mjeriteljstvu moraju biti zakonita, tj. moraju zadovoljavati mjeriteljske propise. Zakonita mjerila su mjerila koja se upotrebljavaju za mjerenja u prometu roba i usluga te za zaštitu zdravlja ljudi i životinja, opće sigurnosti, zaštitu imovine, okoliša, prirodnih resursa, zaštitu na radu i zaštitu od nesreća. Kako bi zadovoljili mjeriteljske propise, sva mjerila moraju biti pravilno ispitana, ovjerena i označena propisanim oznakama. Ovjeravanjem mjerila država jamči sigurnost, zaštitu zdravlja i poštenost mjernih rezultata. S druge strane, sva mjerenja koja ne spadaju u područje zakonskog mjeriteljstva mogu se uvrstiti u područja znanstvenog i tehničkog mjeriteljstva te se odnose na kvalitetu proizvodnog procesa, laboratorijska ispitivanja, mjerenja u sportu, itd. Sva mjerila koja se koriste za mjerenja u domeni tehničkog mjeriteljstva trebala bi biti umjerena. Umjeravanjem mjerila dobiva se više informacija o samom mjerilu nego što se dobiva kod postupka ovjeravanja. Umjeravanjem mjerila dobije se informacija o sustavnoj pogrešci mjerila, podatak o mjernoj nesigurnosti i uspostavlja se sljedivost mjernog rezultata. Budući da u praksi ljudi često ne znaju razlikovati kada se i zašto koriste pojedini postupci mjerenja i ispitivanja mjerila, glavni cilj ovog diplomskog rada bit će detaljno opisati i usporediti postupke ovjeravanja i umjeravanja, zatim izvršiti umjeravanje i ovjeravanje na jednoj neautomatskoj vagi, odnosno jednom mjerilu mase, procijeniti mjernu nesigurnost kod oba postupka ispitivanja mjerila te objasniti uvjete prihvatljivosti mjernih rezultata.

2. TEORIJSKE OSNOVE MJERITELJSTVA I MJERENJA MASE

Masa kao fizikalna veličina, mjerenje mase i ispitivanje mjerila mase zajedno predstavljaju jedno veliko stručno područje koje razvija znanstvena grana mjeriteljstvo. S obzirom na to, u ovom poglavlju će se detaljnije opisati mjeriteljstvo te kategorije mjeriteljstva. Zatim će se objasniti što je to infrastruktura kvalitete koja svojim djelovanjem utječe na donošenje raznih mjeriteljskih direktiva, zakona, pravilnika, preporuka i normi kojima se propisuje ili savjetuje kako provoditi postupke mjerenja mase i ispitivanja mjerila mase. Uz sve navedeno, opisat će se i postupci mjerenja mase koji ne bi bili mogući bez provođenja postupaka ispitivanja mjerila mase.

2.1. Mjeriteljstvo

Mjeriteljstvo je znanost o mjerenju i primjenama mjerenja. Mjerenja su važan dio svih grana znanosti i da nema preciznih i točnih mjerenja koja osiguravaju objektivnost ne bi bilo ni razvoja znanosti. Mjeriteljstvo se danas dijeli na tri glavne kategorije s različitim razinama složenosti i točnosti koje se mogu vidjeti na slici 1.



Slika 1. Kategorije mjeriteljstva

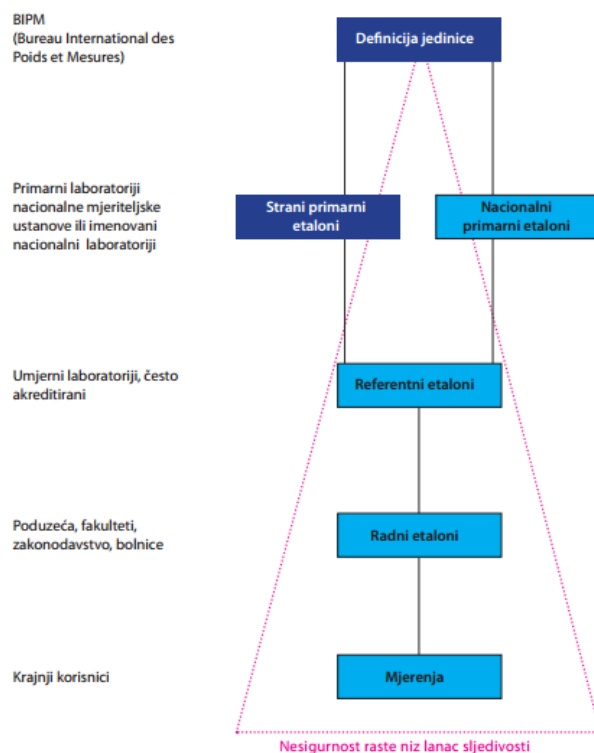
2.1.1. Znanstveno mjeriteljstvo

Znanstveno mjeriteljstvo definira međunarodno prihvaćene mjerne jedinice, bavi se razvojem mjernih etalona i njihovim održavanjem. Znanstveno mjeriteljstvo se prema Međunarodnom uredu za mjere i utege (fra. Bureau international des poids et mesures, BIPM) dijeli u 9 tehničkih područja: masa i srodne veličine, elektricitet i magnetizam, duljina, vrijeme i frekvencija, termometrija, ionizacijsko zračenje i radioaktivnost, fotometrija i radiometrija, protok i akustika. U području mase znanstveno mjeriteljstvo definira međunarodne etalone

mase, etalonske vage i komparatore mase. Etalon je naziv za mjeru, mjerilo, referentnu tvar ili mjerni sustav namijenjen za određivanje, ostvarivanje, čuvanje ili obnavljanje jedinice ili vrijednosti kakve veličine kako bi mogli poslužiti kao referenca. Postoje međunarodni etaloni, nacionalni etaloni, primarni etaloni i sekundarni etaloni. Znanstveno mjeriteljstvo određuje i definiciju kilograma. Kilogram je jednak masi međunarodne pramjere kilograma. Pramjera kilogram predstavlja međunarodni etalon od kojeg kreće lanac sljedivosti odnosno neprekidan lanac usporedbi mjerila od kojih svaki ima utvrđenu mjernu nesigurnost. Sljedivost osigurava da mjerni rezultat ili vrijednost nekog primarnog ili sekundarnog etalona na kraju lanca bude povezana s referentnim etalom na višoj razini odnosno međunarodnim etalom na početku lanca sljedivosti.

2.1.2. Tehničko mjeriteljstvo

Tehničko ili industrijsko mjeriteljstvo treba osigurati prikladno funkcioniranje mjerila koja se koriste u industriji i u raznim procesima proizvodnje i ispitivanja. Ova grana mjeriteljstva najviše se bavi osiguravanjem sljedivosti. Mjerna sljedivost se osigurava provođenjem postupaka umjeravanja mjerila, mjernog sustava ili referentne tvar. Na slici 2. može se vidjeti kako izgleda jedan lanac sljedivosti.



Slika 2. Lanac sljedivosti [1]

2.1.3. Zakonsko mjeriteljstvo

Zakonsko mjeriteljstvo je grana mjeriteljstva koja je prvotno nastala isključivo iz potrebe da se osigura poštena trgovina, posebno u području mjerila mase, odnosno utega i vaga. Zakonsko se mjeriteljstvo bavi mjerilima koja podliježu zakonskom nadzoru i glavni cilj zakonskog mjeriteljstva je osigurati ispravne mjerne rezultate kada se upotrebljavaju u javnim, službenim i trgovačkim poslovima.

2.2. Infrastruktura kvalitete

U prošlosti, dok je međunarodna trgovina robom i sirovinama bila dosta nerazvijena ili ograničena na isto gospodarsko područje, nije se puno obraćala pozornost na određene zahtjeve, kao što su zaštita potrošača ili zaštita okoliša, kojima bi se kontrolirala trgovina robom i sirovinama. Kako se svijet sve više razvijao i povezivao, industrijalizirane i najrazvijenije države su počele usavršavati i osmišljavati sustav kojim bi se dokazivala tehnička mjerodavnost robe i sirovina pomoću različitih načina vrednovanja. Na taj način prvenstveno bi se podizala konkurentnost proizvoda na nacionalnim i međunarodnim tržištima, a uz to takav sustav bi također imao pozitivan utjecaj na procese regionalne integracije i pomagao bi gospodarstvima u razvoju da brže nadoknade propušteno u svim bitnim područjima izvoznih zahtjeva, pitanjima sigurnosti hrane, zaštite potrošača ili zdravlja. Takav sustav danas se naziva infrastruktura kvalitete. Infrastruktura kvalitete odnosi se na sve aspekte mjeriteljstva, normizacije, ispitivanja i upravljanja kvalitetom uključujući potvrđivanje i akreditaciju. Svi navedeni aspekti infrastrukture kvalitete bitni su za proizvodnju i trgovinu i međusobno su tijesno povezani. Infrastruktura kvalitete ne može biti uspješna bez bilo koje od tih sastavnica. U ovom potpoglavlju detaljnije će biti opisane sve organizacije na međunarodnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini koje svojim djelovanjima osiguravaju kvalitetu proizvoda kao što su vage.

2.2.1. Međunarodna infrastruktura kvalitete

Međunarodna infrastruktura kvalitete globalno utječe na izjednačavanje svih normi, zakona, pravilnika i tehničkih propisa kako bi se smanjile zapreke u međunarodnoj trgovini te kako bi sve zemlje mogle uživati u prednostima globalizacije uz djelotvornu zaštitu od njezinih rizika. Na međunarodnoj razini infrastrukturu kvalitete čine:

- Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (OIML)

Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo međuvladina je ugovorna organizacija. Osnovana je na temelju dogovora 1955. godine i od svog osnivanja u cijelom svijetu stvara tehnički ustroj koji svojim članicama osigurava mjeriteljske upute za razradbu nacionalnih i regionalnih zahtjeva koji se odnose na proizvodnju i uporabu mjerila za primjene u zakonskom mjeriteljstvu. OIML izdaje međunarodne preporuke koje daju članovima međunarodno dogovoren temelj za uspostavljanje nacionalnog zakonodavstva za različite kategorije mjerila. Glavni elementi međunarodnih preporuka su: područje primjene, mjeriteljski zahtjevi, tehnički zahtjevi, metode i oprema za ispitivanje i potvrđivanje sukladnosti sa zahtjevima te oblik ispitnog izvješća. Nacrte preporuka i dokumenata koje izdaje OIML izrađuju tehnički odbori ili pododbori koji su sastavljeni od zastupnika iz država članica.

- Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM)

Međunarodni ured za utege i mjere je međunarodna organizacija za standardizaciju osnovana za održavanje međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI). Međunarodni ured za utege i mjere osnovan je 20. svibnja 1875. godine nakon što je isti dan potpisana Dogovor o metru. Metarska konvencija ili Dogovor o metru je temeljni dokument svjetskoga mjernog jedinstva.

- Međunarodna suradnja na akreditaciji laboratorija (ILAC)

Međunarodna suradnja na akreditaciji laboratorija je suradnja između različitih programa akreditacije laboratorija koji se provode u svijetu. Međunarodna suradnja na akreditaciji laboratorija predstavlja međunarodni forum za razvoj prakse i postupaka akreditacije laboratorija, a uz to promiče akreditaciju laboratorija radi olakšanja trgovine s priznavanjem mjerodavnosti za umjeravanja i ispitivanja u svijetu.

- Međunarodna organizacija za normizaciju (ISO) i Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC)

Međunarodna organizacija za normizaciju i međunarodna elektrotehnička komisija predstavljaju međunarodna tijela za donošenje međunarodnih norma u području strojarstva i elektrotehnike. Norme i druge publikacije o normizaciji dobrovoljne su smjernice o tehničkim specifikacijama za proizvode, usluge i procese. Iako su ISO i IEC nevladine organizacije, njihove sposobnosti donošenja norma koje često postaju zakoni, čine ih moćnijima od većine nevladinih organizacija.

2.2.2. Europska infrastruktura kvalitete

Uz navedene međunarodne organizacije postoje još neke organizacije koje djeluju na razini Europske unije, a bitne su za donošenje preporuka, normi, pravilnika i zakona u Republici Hrvatskoj. To su:

- Zapadnoeuropska suradnja u zakonskom mjeriteljstvu (WELMEC)

Zapadnoeuropsku suradnju u zakonskom mjeriteljstvu čine nacionalna tijela za zakonsko mjeriteljstvo u zemljama članicama Europske unije. Ciljevi WELMEC – a su razvoj međusobnog povjerenja između tijela zakonskog mjeriteljstva u Europi, usklađivanje djelatnosti u zakonskom mjeriteljstvu i omogućavanje brže razmjene podataka između zainteresiranih tijela. WELMEC savjetuje Europsko povjerenstvo i Europsko vijeće o primjeni i daljnjem razvoju Direktiva u zakonskom mjeriteljstvu. Direktiva za neautomatske vage (NAWI – Non-Automatic Weighing Instruments Directive) temeljni je dokument koji zakonski opisuje postupak ovjeravanja vaga.

- Europska organizacija nacionalnih mjeriteljskih instituta (EUROMET)

Europska organizacija nacionalnih mjeriteljskih instituta je organizacija koja upravlja Europskim mjeriteljstvom na način da povećava razinu integracije i koordinacije mjeriteljskog razvoja i istraživanja. EUROMET zapravo predstavlja organizaciju na razini Europe koja se bavi znanstvenim i tehničkim mjeriteljstvom te koja izdaje razne preporuke i vodiče koji ako se pravilno implementiraju na razini države, vrijede u cijeloj Europi. Jedan takav EUROMET–ov vodič opisuje postupak umjeravanja neautomatskih vaga koji je poslužio pri izradi ovog diplomskog rada.

- Europska suradnja u akreditaciji (EA)

Europska suradnja u akreditaciji je neprofitna organizacija koja je formirana kao rezultat udruživanja europske certifikacije potvrđivanja i europske suradnje na akreditaciji laboratorija. Europska suradnja u akreditaciji predstavlja europsku mrežu nacionalno priznatih akreditacijskih tijela smještenih u europskom zemljopisnom području. EA je kao regija član međunarodne suradnje na akreditaciji laboratorija (ILAC) i međunarodnog akreditacijskog foruma (IAF). Članice EA koje su uspješno prošle ocjenjivanje stručnjaka mogu potpisati odgovarajući multilateralni ugovor (EA MLA) za ovlašćivanje laboratorija, inspekcijskih tijela te potvrđivati tijela u sklopu čega oni priznaju i promiču međusobnu jednakost sustava, potvrda i izvještaja koje je izdalo akreditirano tijelo.

- Europski odbor za normizaciju (CEN) i Europski odbor za elektrotehničku normizaciju (CENELEC) i Europski institut za telekomunikacijske norme (ETSI)

CEN, CENELEC i ETSI su tri službeno priznate neovisne europske organizacije za normizaciju koje stvaraju europske norme (EN). Nakon donošenja europskih normi nacionalna tijela za normizaciju trebaju ih prenijeti u nacionalno zakonodavstvo i povući sve proturječne nacionalne norme.

2.2.3. Infrastruktura kvalitete Republike Hrvatske

Na razini Republike Hrvatske infrastrukturu kvalitete čine:

- Državni zavod za mjeriteljstvo (DZM)

Državni zavod za mjeriteljstvo uspostavlja i osigurava primjenu zakonskog mjeriteljstva, stvara pouzdanu vezu između mjerenja i vrijednosti, mjerenja i sigurnosti, mjerenja i kvalitete. Državni zavod za mjeriteljstvo omogućuje poštenu trgovinu, zaštitu potrošača, sigurnost u prometu, ispravna mjerenja u zdravstvu, pomaže u očuvanju okoliša, racionalnom korištenju prirodnih resursa i pridonosi kvaliteti proizvoda i konkurentnosti hrvatskog gospodarstva. Državni zavod za mjeriteljstvo je tijelo državne uprave koje se uglavnom bavi poslovima vezanim uz zakonodavstvo, ali uz to može obavljati i neke druge poslove koji su mu stavljeni u nadležnost posebnim zakonima.

- Hrvatski mjeriteljski institut (HMI)

Hrvatski mjeriteljski institut (HMI) djeluje pod nadzorom Ministarstva znanosti i tehnologije. Osnovan je 2008. godine temeljem Uredbe o osnivanju Hrvatskoga mjeriteljskog instituta donesene od strane Vlade RH. Neke od najvažnijih djelatnosti HMI – a su: proglašavanje državnih etalona, obavljanje upravnih i stručnih poslova u vezi s državnim etalonima i usklađivanje rada nacionalnih umjernih laboratorija. Uz to HMI je zaslužan za osiguravanje sljedivosti mjerenja u Republici Hrvatskoj, provođenje umjeravanja etalona i mjerila, ostvarivanje, čuvanje i održavanje državnih mjernih etalona te osiguravanje njihove sljedivosti prema međunarodnim etalonima.

- Hrvatska akreditacijska agencija (HAA)

Hrvatska akreditacijska agencija je neovisna, neprofitna i nekomercijalna nacionalna akreditacijska ustanova i zadovoljava sve zahtjeve međunarodne i europske norme za akreditacijska tijela koja je u Republici Hrvatskoj prihvaćena kao hrvatska norma HRN EN ISO/IEC 17011:2005 i zahtjeve Uredbe (EZ) br. 765/2008 Europskog parlamenta i Vijeća od

9. srpnja 2008. o utvrđivanju zahtjeva za akreditaciju i za nadzor tržišta s obzirom na stavljanje proizvoda na tržište. Hrvatska akreditacijska agencija osnovana je radi provedbe hrvatskog tehničkog zakonodavstva koje je usklađeno s pravnom stečevinom Europske unije (*Acquis communautaire*). Hrvatska akreditacijska agencija je nadležna za akreditiranje, odnosno davanje akreditacije tijelima za ocjenu sukladnosti (laboratorijima, certifikacijskim i inspekcijskim tijelima, verifikatorima stakleničkih plinova, organizatorima ispitivanja sposobnosti). Akreditacija je dokument koji predstavlja međunarodno priznati način dokazivanja osposobljenosti za ocjenjivanje sukladnosti u područjima ispitivanja, umjeravanja, certifikacije (proizvoda, QMS, EMS, osoblja), inspekcije i organiziranja ispitivanja sposobnosti. Hrvatska akreditacijska agencija predstavlja važan segment u doprinosu sigurnosti kvalitete proizvoda i usluga te zaštiti potrošača i na taj način pruža potporu gospodarstvu u ostvarivanju konkurentnosti. Djelatnost Hrvatske akreditacijske agencije je provođenje akreditacije prema zahtjevima određenim nacionalnim, europskim i međunarodnim normama i normativnim dokumentima.

- Hrvatski zavod za norme (HZN)

Hrvatski zavod za norme priprema, prihvaća i izdaje hrvatske norme i druge dokumente iz područja normizacije, predstavlja hrvatsku normizaciju u međunarodnim i europskim normizacijskim organizacijama, održava zbirku hrvatskih norma, vodi registar hrvatskih norma te uređuje i izdaje hrvatske norme, druge dokumente i publikacije iz područja normizacije. Normizacija je djelatnost uspostavljanja odredbi, odnosno normi za opću i opetovanu uporabu koje se odnose na postojeće ili moguće probleme radi postizanja najboljeg stupnja urednosti u danome kontekstu. Norme su uglavnom dragovoljne, ali mogu biti obvezne. Norme osiguravaju referentni okvir ili zajednički tehnički jezik između dobavljača i njihovog kupca te time olakšavaju trgovinu i prijenos tehnologije. Norme na primjer mogu služiti za opisivanje stanja tehnike, mogu pokazivati smjer tehničkog razvoja u ranoj fazi, mogu definirati zahtjeve koje trebaju zadovoljiti proizvodi i proizvodni postupci, mogu služiti za utvrđivanje tehničkih specifikacija za ispitivanje proizvoda. Norme mogu biti izvorno iz Hrvatske pa su onda izvorne hrvatske norme i imaju oznaku HRN, ali mogu biti i prihvaćene međunarodne ili europske norme u izvorniku ili prevedene na hrvatskom jeziku pa onda imaju oznaku HRN ISO ili HRN EN ISO/IEC. Teži se ovoj drugoj vrsti norma, koje su prihvaćene međunarodne ili europske norme, zbog globalnog cilja da svugdje budu podjednako razvijene nacionalne infrastrukture kvalitete.

2.3. Mjerenje mase

Masa je fizička veličina koja se može pripisati nekom tvarnom predmetu i koja daje mjeru njegove količine tvari. Masu se često zna zamjeniti sa težinom, a to je potpuno različita fizikalna veličina. Razlika između mase i težine je u tome što je masa apsolutna dok težinu uvjetuje gravitacija, također masa se izražava u kilogramima [kg] dok se težina izražava u njutnima [N]. Masa je ujedno i mjera inercije, odnosno tromosti tijela. Inercija ili tromost tijela je svojstvo svakog tijela koje nastoji ostati u stanju mirovanja ili jednolikoga gibanja po pravcu dok ga vanjska sila ne prisili da to stanje promijeni. Inercija i masa su dvije međusobno zavisne osobine tijela koje su direktno proporcionalne. Tijelo veće mase imat će veću inerciju dok će tijelo manje mase imati manju inerciju. Masa nekog tijela može se odrediti na dva načina:

- usporedbom utega ili etalona mase kao referencije uporabom vage kao komparatora,
- uporabom vage kao referentnog instrumenta.

Masa tijela dobiva se mjerenjem odnosno vaganjem u zraku. Budući da vaga pokazuje vrijednost mase koja je razmjerna sili teži na promatrano tijelo umanjenoj za utjecaj uzgona zraka, pokazivanje vage općenito treba korigirati za djelovanje uzgona. Vrijednost te korekcije značajno će ovisiti o gustoći vaganog tijela i gustoći zraka. Kako bi se pojednostavilo određivanje mase tijela u mjeriteljstvu, postignuti su određeni mjeriteljski dogovori. Tako su se definirale prava masa i dogovorena masa tijela. Prava masa predstavlja masu izmjerenu na vagi. Prefiks prava se dodaje kako bi se naznačila razlika u odnosu na konvencionalnu masu. Važno je reći da je međunarodna pramjera utega od 1 kg definirana kao prava masa. Dogovorena ili konvencionalna masa tijela jednaka je masi etalona m_c gustoće $\rho_r = 8\,000\text{ kg/m}^3$ koja uravnotežuje to tijelo u zraku gustoće $\rho_o = 1,2\text{ kg/m}^3$ pri referentnoj temperaturi $t_{\text{ref}} = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Pojam dogovorene mase ima za cilj pojednostaviti određivanje mase tijela, npr. utega, pod uvjetima u zračnom okolišu. Ako je masa utega poznata iz nekog mjeriteljskog dokumenta (npr. iz potvrde o umjeravanju) njegova se dogovorena masa može izračunati u skadu s tom definicijom iz sljedeće formule:

$$m_c = m \cdot \left[1 + 1,2 \cdot \left(\frac{1}{8000} - \frac{1}{\rho_t} \right) \right] \quad (1)$$

Ova jednačica pokazuje da dogovorena, odnosno konvencionalna masa utega izrađena od nehrđajućeg čelika gustoće približno 8000 kg/m^3 odstupa od njegove prave mase samo za mali iznos. Za druge materijale utega odstupanja su veća i prema podacima iz dokumenta

OIML D 28, „Dogovorena vrijednost vaganja u zraku“ kreću se od 3×10^{-4} za aluminij do 10^{-4} za platinu. Važno je razumjeti i znati vezu između dogovorene i prave mase prema izrazu (1) iz razloga što se svakodnevno koriste u postupcima umjeravanja. Prije opisivanja postupaka ispitivanja vaga važno je opisati opremu s kojom se može mjeriti masa ili ispitivati vaga, a uz to važno je navesti metode mjerenja mase koje se ne mogu provoditi ako mjerila mase nisu ispitana ovisno o području mjeriteljstva u kojem se koriste.

2.3.1. Oprema za mjerenje mase

Opremu za mjerenje mase čine utezi i vage. Utezi i vage danas se izrađuju prema propisanim standardima kako bi se što lakše mogli primjenjivati u mjerenjima ili ispitivanjima i kako bi mjerenja s njima bila što točnija.

2.3.1.1. Utezi

Utezi su standardizirana mjerila mase koja su propisana OIML-ovim međunarodnim mjeriteljskim dokumentom R 111-1. Ako se utezi izrađuju prema navedenom dokumentu vrlo lako će se moći upotrebljavati za postupke umjeravanja i ovjeravanja ili za vaganje. Prije svega važno je reći da su standardizirani utezi klasificirani u razrede točnosti E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} , M_3 . Utezi najveće točnosti koji zadovoljavaju najstrože mjeriteljske i tehničke zahtjeve su utezi razreda E_1 koji se koriste za osiguravanje sljedivosti između nacionalnih etalona mase, dok su utezi razreda točnosti M_3 najlošije kvalitete i zadovoljavaju samo određene mjeriteljske i tehničke zahtjeve. Mjeriteljski zahtjevi na utege odnose se na parametar najveće dopuštene pogreške Mpe koju utezi smiju pokazivati. Ako utezi imaju veću pogrešku od Mpe smanjuje im se razred točnosti. Tehnički zahtjevi koji se postavljaju na utege određenih razreda točnosti su:

- oblik utega
- građa utega
- materijal utega
- magnetizam utega
- gustoća utega
- stanje površine utega
- korištenje, čišćenje, skladištenje utega

Oblik utega mora biti što jednostavniji, ne smije imati nikakve oštre rubove kako bi se što više spriječilo njihovo oštećenje. Utezi ne smiju imati nikakva udubljenja kako se u njima ne bi skupljale čestice prašine. Uz to, utezi moraju biti kompaktni bez otvorenih šupljina, tj. moraju biti izrađeni iz jednog komada materijala. Materijal utega mora biti otporan na hrđanje i dovoljno kvalitetan. Potrebno je kontrolirati i magnetizam utega. Postoje dva magnetska svojstva koja se mjere, a to su trajna magnetizacija i magnetska susceptibilnost. Magnetska susceptibilnost je svojstvo utega koje pokazuje da li uteg može postati magnetiziran ako se postavi u magnetsko polje dok je trajna magnetizacija svojstvo utega koje se ne može mijenjati. Dokument OIML R 111-1 propisuje dopuštene limite za ova dva svojstva za različite razrede točnosti utega. Osim magnetizma utega propisana je i gustoća utega. Gustoća utega mora biti takva da odstupanje od 10 % od utvrđene gustoće zraka ($1,2 \text{ kg/m}^3$) ne izaziva pogrešku koja prelazi četvrtinu najveće dopuštene pogreške Mpe . Stanje površine utega mora biti takvo da svaka promjena mase utega uzrokovana sa promjenom stanja površine bude zanemariva u odnosu na najveću dopuštenu pogrešku Mpe . Stanje površine utega će se s povećanjem vremena korištenja utega pogoršavati. Za mjeritelje je bitno da konstantno pregledavaju površinu jer povećana oštećenja ili ogrebotine utega mogu uzrokovati nestabilnost utega, odnosno mogu uzrokovati pad razreda točnosti utega. Mjeritelji također moraju pravilno rukovati utezima. Utezi se nipošto ne smiju dirati rukama, pogotovo utezi viših razreda točnosti. Konstantno se moraju koristiti rukavice i hvataljke prilikom rukovanja utezima. Nakon svakog korištenja utega potrebno je utege očistiti sa alkoholnom tekućinom i potrebno ih je dobro skladištiti, pogotovo ako su višeg razreda točnosti.

2.3.1.2. Vage

Razvojem mjeriteljstva mase razvijale su se i vage. Danas postoji mnoštvo različitih vrsta vaga za razne upotrebe od kojih su najznačajnije:

- trgovačke vage
- precizne vage
- analitičke vage
- medicinske vage
- mobilne vage
- procesne vage

- industrijske vage
- mosne (kolske) vage

Sve navedene vrste vaga mogu se svrstati u dvije glavne skupine vaga:

1. automatske vage
2. neautomatske vage

Automatske vage su vage koje provode mjerenje mase potpuno samostalno bez intervencije mjeritelja uz pomoć prije definiranog programa, dok su neautomatske vage uređaji koji tijekom mjerenja mase zahtijevaju sudjelovanje rukovatelja. Automatske vage, ako će se koristiti za postupke umjeravanja i ovjeravanja, moraju zadovoljiti određene mjeriteljske i tehničke zahtjeve koji su određeni međunarodnim dokumentom OIML R 107-1. S druge strane, ako će se koristiti neautomatske vage u postupcima umjeravanja i ovjeravanja, tada te vage moraju zadovoljiti mjeriteljske i tehničke zahtjeve određene u međunarodnom dokumentu OIML R 76-1. Vaga koja će se ispitivati u ovom diplomskom radu je neautomatska precizna vaga.

2.3.2. Metode mjerenja mase

Metode mjerenja mase razvijale su se sukladno sa razvojem svih industrijskih područja i procesa gdje se koristi mjerenje mase. Zbog toga u svijetu trenutno postoji mnogo različitih metoda mjerenja mase od kojih su najznačajnije:

- izravno očitavanje mjerenja
- mjerenje mase s razlikom
- mjerenje mase usporedbom
- postupak ABA
- postupak ABBA
- ciklično mjerenje mase

U sljedećim potpoglavljima ukratko će biti objašnjene navedene najznačajnije metode mjerenja mase koje se koriste. Naravno, ta mjerenja mase bit će ispravna samo ako su mjerila pomoću kojih se vrše mjerenja pravilno ispitana, odnosno umjerena ili ovjerena. U suprotnom, rezultati mjerenja koji bi se dobivali pojedinim metodama mjerenja mase ne bi se smatrali točnima.

2.3.2.1. Izravno očitavanje mjerenja

Izravno očitavanje mjerenja je najjednostavnija metoda mjerenja mase. U ovoj metodi jednostavno se postavi ispitni teret na vagu i očitava se iznos koji pokaže vaga. Ova vrsta mjerenja mase prikladna je samo za mjerenja mase sa niskom razinom točnosti.

2.3.2.2. Mjerenje mase s razlikom

Ova tehnika mjerenja mase najviše se koristi u području analitičke kemije, ali i u drugim znanstvenim granama i također je prikladna samo za mjerenja sa nižom razinom točnosti. Princip mjerenja mase s razlikom je sljedeći:

- prvo se na vagu stavlja prazna posuda i očitava se izmjerena masa posude ($test_1$)
- potom se u praznu posudu dodaje ispitni teret i izmjeri se zajednička masa posude i ispitnog tereta ($test_2$)
- masu ispitnog tereta čini razlika dva navedena očitavanja mase ($test_2 - test_1$)

Postoji i drugi način mjerenja mase s razlikom koji je malo kompliciraniji, ali isključuje utjecaj drifta vage, odnosno slabljenja mjeriteljskih značajki vage kroz vrijeme. U ovoj metodi koriste se dvije posude, jedna referentna i jedna u koju se ubacuje ispitni teret. Postupak je sljedeći:

- prvo se na vagu stavlja referentna posuda i očitava se izmjerena masa referentne posude (ref_1)
- zatim se referentna posuda skida sa vage
- nakon toga se na vagu stavlja druga posuda i očitava se izmjerena masa ($test_1$)
- potom se u posudu na vagi stavlja ispitni teret i očitava se izmjerena zajednička masa posude i ispitnog tereta ($test_2$)
- zatim se sav teret skida sa vage
- zadnji korak je ponovno stavljanje referentne posude na vagu i ponovno se očitava izmjerena masa referentne posude (ref_2)
- zatim se referentna posuda skida sa vage

Masa ispitnog tereta dobije se prema sljedećem izrazu:

$$w_t = (test_2 - test_1) - (ref_2 - ref_1) \quad (2)$$

Ovaj postupak ujedno omogućava bolje vaganje sa manjom nesigurnošću.

2.3.2.3. Mjerenje mase usporedbom

Mjerenja mase sa visokom točnosti uglavnom se izvode uspoređivanjem ispitnog tereta sa etalonskim utegom slične nazivne mase. Postupak mjerenja mase usporedbom je sljedeći:

- prvo se na vagu stavlja uteg odnosno ispitni teret i izmjeri se masa A
- zatim se na vagu stavlja etalonski uteg i izmjeri se masa B

U većini slučajeva postojati će razlika mase Δm između mase ispitnog tereta A i mase etalonskog utega B . Korelacija razlike mase Δm , mase ispitnog tereta A i mase etalonskog utega B prikazana je sljedećim izrazom:

$$A = B + \Delta m \quad (3)$$

U ovom postupku najbitnije je da razlika mase Δm bude što manja, a to će se postići sa što boljim izjednačavanjem mase ispitnog tereta A sa masom jednog ili više etalonskih utega B .

2.3.2.4. ABA postupak

ABA postupak je također postupak usporedbe mase dva utega, jednog nepoznate mase A i drugog standardnog etalona mase B . U postupku se redosljedno na vagu stavljaju uteg nepoznate mase i standardni etalon prema sljedećoj mjeriteljskoj shemi:

$$A_1 B_1 A_2 B_2 A_3$$

Gdje A_i i B_i predstavljaju očitavanja mase nepoznatog utega i standardnog etalona. Kako bi se odredila razlika mase Δm između nepoznatog utega i standardnog etalona koristi se sljedeći izraz:

$$\Delta m = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (4)$$

2.3.2.5. ABBA postupak

ABBA postupak je također postupak usporedbe mase utega nepoznate mase i mase etalonskog utega samo što je ovaj postupak efikasniji od ABA postupka jer je za provođenje usporedbe potrebno jedno mjerenje manje. U ovom postupku utezi se redosljedno stavljaju na vagu prema sljedećoj mjeriteljskoj shemi:

$$A_1 B_1 B_2 A_2$$

Kako bi se odredila razlika mase Δm koristi se sljedeći izraz:

$$\Delta m = \frac{A_1 + A_2}{2} - \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (5)$$

2.3.2.6. Ciklično mjerenje mase

Ciklično mjerenje mase koristi se kod utega visokih razreda točnosti E i F prema OIML – u. Kod mjerenja mase utega visokih razreda točnosti obično se koriste dva ili više etalonskih utega iste nazivne mase. Na sljedećoj slici prikazano je kako izgleda jedan takav postupak koji je relativno kompliciran.

Comparison	Measured Difference	Corrected Difference	Using S1 value	Using S2 value	Measured value
S1 v T1	d_1	$d_1 - C$	$T1 = S1 - d_1 + C$	$T1 = S1^* - d_1 + C$	The average of the values for T1 to T6 calculated in the previous columns
T1 v T2	d_2	$d_2 - C$	$T2 = T1 - d_2 + C$	$T2 = T1 - d_2 + C$	
T2 v T3	d_3	$d_3 - C$	$T3 = T2 - d_3 + C$	$T3 = T2 - d_3 + C$	
T3 v S2	d_4	$d_4 - C$	$S2^* = T3 - d_4 + C$	$S2 = T3 - d_4 + C$	
S2 v T4	d_5	$d_5 - C$	$T4 = S2^* - d_5 + C$	$T4 = S2 - d_5 + C$	
T4 v T5	d_6	$d_6 - C$	$T5 = T4 - d_6 + C$	$T5 = T4 - d_6 + C$	
T5 v T6	d_7	$d_7 - C$	$T6 = T5 - d_7 + C$	$T6 = T5 - d_7 + C$	
T6 v S1	d_8	$d_8 - C$	$S1 = T6 - d_8 + C$	$S1^* = T6 - d_8 + C$	
Sum	$d_1 + d_2 + \dots + d_8$	0			
Correction	$C = \text{sum}/8$				

Slika 3. Prikaz cikličnog mjerenja mase [13]

Na slici 3. oznake S1 i S2 predstavljaju izmjerenu masu dva različita etalonska utega dok oznake od T1 do T6 predstavljaju izmjerene mase šest utega visokog razreda točnosti. Oznake d_1 do d_8 prikazuju razliku u pojedinim navedenim usporedbama utega navedenih u prvom stupcu, a oznaka C prikazuje srednju razliku svih mjerenja. Četvrti i peti stupac, koji se mogu vidjeti na slici, prikazuju kako se izražava masa ispitnih utega visokog razreda točnosti preko jednog ili drugog korištenog etalonskog utega iste nazivne mase.

3. POSTUPCI ISPITIVANJA VAGA U MJERITELJSTVU

Kako bi se mjerila mase mogla koristiti za mjerenja u zakonskom i tehničkom području mjeriteljstva moraju biti sukladno tome ispitana. Dva glavna postupka ispitivanja mjerila su ovjeravanje i umjeravanje. U ovom poglavlju detaljno će biti opisani postupci ovjeravanja i umjeravanja na jednoj neautomatskoj preciznoj vagi.

3.1. Postupak ovjeravanja

Postupak ovjeravanja je postupak ispitivanja vage ili bilo kojeg drugog mjerila u području zakonskog mjeriteljstva kojim se potvrđuje da je ispitivano mjerilo u granicama prihvatljivih dopuštenih odstupanja koja su navedena u tehničkim propisima. Postupak ovjeravanja provodi se za vage koje se koriste u svrhu:

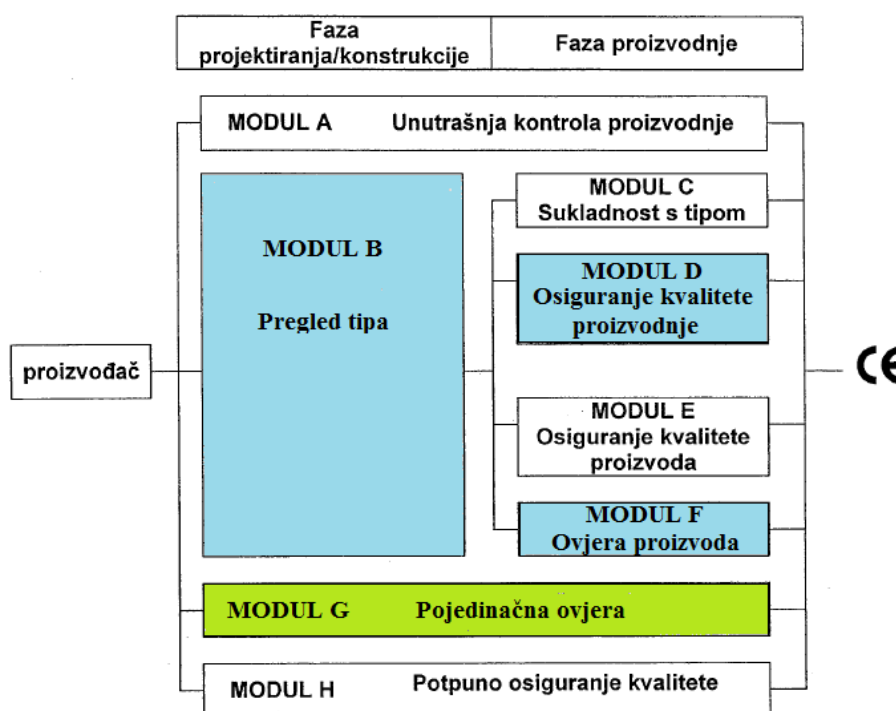
- određivanja mase za trgovačko poslovanje
- određivanja mase radi izračunavanja carine, poreza, cestarine, premije, sankcije, naknade, nadoknade za štetu ili slične vrste plaćanja
- određivanja mase u medicinskoj praksi za vaganje pacijenata u svrhu praćenja, dijagnoze i postupka liječenja
- određivanja mase radi pripremanja lijekova na temelju recepta u ljekarni i određivanja mase u analizama koje se provode u medicinskim i farmaceutskim laboratorijima
- određivanja cijene na temelju mase u svrhu izravne javne prodaje

Postupak ovjeravanja završava označavanjem mjerila sa oznakom da je mjerilo ovjereno i izdavanjem ovjernice. Ovjeravanje mjerila može biti:

- prvo ovjeravanje
- ponovno ovjeravanje
- izvanredno ovjeravanje

Prvo ovjeravanje predstavlja ispitivanje mjerila prije puštanja u rad odnosno stavljanja na tržište, dok ponovno i izvanredno ovjeravanje predstavlja ispitivanje mjerila nakon puštanja u rad. Ponovna ili redovna ovjera je postupak ispitivanja mjerila koji se ponavlja u propisanim ovjernim razdobljima za određenu vrstu mjerila dok je izvanredna ovjera mjerila postupak ispitivanja mjerila koji se provodi kada zakonito mjerilo nije bilo u uporabi zbog kvara ili

drugih tehničkih nedostataka ili zbog toga što nije bilo ovjereno u propisanom ovjernom razdoblju. Ne postoji nikakva razlika između tri navedena postupka ovjerevanja osim što se provode u različitim trenucima u odnosu na stavljanje vage na tržište. Na prvo ovjeravanje može se podnositi mjerilo za koje je tijelo za ocjenu sukladnosti izdalo rješenje o odobrenju tipa, odnosno mjerilo koje je dobilo oznaku sukladnosti prema Direktivi 2014/31/EU Europskog parlamenta i vijeća koja govori o usklađivanju zakonodavstava država članica u odnosu na stavljanje na raspolaganje neautomatskih vaga na tržište. Sukladnost proizvoda može se utvrditi jednim od sljedećih postupaka ocjenjivanja sukladnosti koji izabire proizvođač:



Slika 4. Moduli za ocjenu sukladnosti

Ocjenjivanje sukladnosti neautomatskih vaga, kao što je vaga koja se ispituje u ovom diplomskom radu, prema slici 4. može se provoditi na sljedeće načine:

- ocjenjivanje sukladnosti preko modula B, pa preko modula D ili F
- ocjenjivanje sukladnosti preko modula G

Ocjenjivanjem sukladnosti neautomatskih vaga dokazuje se da te vage ispunjavaju sljedeće bitne zahtjeve:

- 1) mjeriteljske zahtjeve
- 2) zahtjeve na projektiranje i izvedbu

U **mjeriteljske zahtjeve** spadaju sljedeći zahtjevi:

- jedinice za masu

Korištene jedinice za masu moraju biti u skladu s SI sustavom: kilogram, mikrogram, miligram, gram, tona.

- razredi točnosti

Postoje četiri razreda točnosti neautomatskih vaga:

- 1) I osobit;
- 2) II visok;
- 3) III srednji;
- 4) IIII običan;

Razred točnosti neautomatskih vaga određuje se prema sljedećoj tablici:

Tablica 1. Određivanje razreda točnosti neautomatskih vaga [2]

Razredi točnosti				
Razred	Vrijednost ispitnog podjeljaka vage (e)	Najmanja sposobnost vaganja (Min)	Broj ispitnih podjeljaka vage $n = ((Max)/(e))$	
		Najmanja vrijednost	Min. vrijednost	Maks. vrijednost
I	$0,001 \text{ g} \leq e$	$100 e$	50.000	-
II	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$	$20 e$	100	100.000
	$0,1 \text{ g} \leq e$	$50 e$	5.000	100.000
III	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	$20 e$	100	10.000
	$5 \text{ g} \leq e$	$20 e$	500	10.000
IIII	$5 \text{ g} \leq e$	$10 e$	100	1.000

Vaga promatrana u ovom diplomskom radu ima ispitni podjeljak e koji iznosi 0,1 g i broj ispitnih podjeljaka joj je 21.000 što je prema navedenoj tablici svrstava u II razred točnosti vage. Uz navedeni ispitni podjeljak e postoji i radna vrijednost podjeljaka d koja kod ove vage iznosi 0,01 g.

- razredba

Postoji razredba na vage s jednim područjem vaganja, vage s više područja vaganja i vage s više od jedne vrijednosti podjeljaka ispitne ljestvice. Vaga koja se promatra u ovom diplomskom radu je vaga s jednim područjem vaganja.

- točnost

Pri ocjenjivanju sukladnosti, pogreška pokazivanja na vagi ne smije premašiti najveću dopuštenu pogrešku pokazivanja kako je navedeno u tablici 2.

Tablica 2. Najveće dopuštene pogreške [2]

Najveća dopuštena pogreška pri ovjeravanju	Za opterećenje m izraženo u ispitnim podjeljcima vage e			
	Razred točnosti $\textcircled{\text{I}}$	Razred točnosti $\textcircled{\text{II}}$	Razred točnosti $\textcircled{\text{III}}$	Razred točnosti $\textcircled{\text{III}}$
$\pm 0.5 e$	$0 \leq m \leq 50000$	$0 \leq m \leq 5000$	$0 \leq m \leq 500$	$0 \leq m \leq 50$
$\pm 1 e$	$50000 < m \leq 200000$	$5000 < m \leq 20000$	$500 < m \leq 2000$	$50 < m \leq 200$
$\pm 1.5 e$	$200000 < m$	$20000 < m \leq 50000$	$2000 < m \leq 10000$	$200 < m \leq 1000$

- ponovljivost

Rezultati vaganja, koje daje vaga, moraju biti ponovljivi, a moraju biti i obnovljivi koriste li se drugi uređaji za pokazivanje, kao i druge metode uravnoteživanja.

- utjecajne veličine i vrijeme

Neautomatske vage II, III i IIII razreda točnosti, izložene uporabi u nagnutom položaju, moraju biti dovoljno neosjetljive na stupanj nagnutosti koji bi se mogao pojaviti u normalnim uvjetima. Uz to, vage moraju zadovoljavati mjeriteljske zahtjeve unutar temperaturnog područja koje je specificirao proizvođač. Neautomatska precizna vaga koja će se ispitivati u ovom diplomskom radu ima temperaturno područje od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vage moraju zadovoljiti u radu u uvjetima visoke relativne vlažnosti.

U zahtjeve na projektiranje i izvedbu spadaju sljedeći zahtjevi:

- opći zahtjevi

Projektiranje i izvedba vaga mora biti takva da mjerila sačuvaju svoja mjeriteljska svojstva ako ih se primjereno instalira i koristi, te ako ih se koristi u okruženju za koje su namijenjeni. Električne vage moraju moći zvučno ili vizualno signalizirati ako postoji nekakva neispravnost koja utječe na mjerenje. Uz to, ako se na elektroničku vagu priljuči neka vanjska oprema pomoću prikladnog sučelja, takvo priključenje ne smije nepovoljno utjecati na

mjeriteljska svojstva vage. Vage moraju biti izvedene tako da omogućuju lako obavljanje mjeriteljskih poslova i da onemogućuju zlouporabu.

- pokazivanje rezultata vaganja

Pokazivanje rezultata vaganja mora biti jasno i nedvosmisleno, a uređaj za pokazivanje rezultata mora omogućavati lako očitavanje. Pokazivanje rezultata vaganja mora biti onemogućeno za vrijednosti iznad najveće sposobnosti vaganja (Max) uvećane za $9 \cdot e$.

- ispisivanje rezultata vaganja

Ako vaga ima mogućnost ispisivanja rezultata vaganja tada ispisani rezultati moraju biti ispravni, prepoznatljivi i nedvojbni. Ispis mora biti jasan, čitljiv, neizbrisiv i trajan.

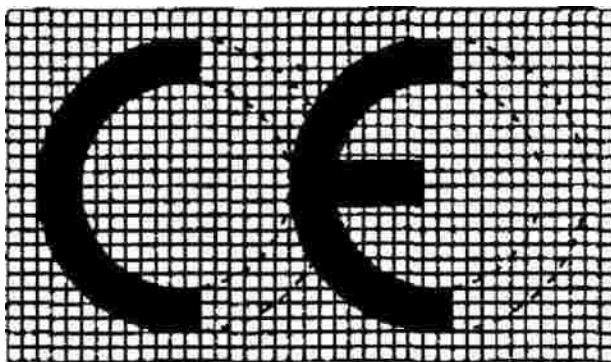
- postavljanje u vodoravni položaj

Vage se moraju opremiti priborom za postavljanje u vodoravni položaj kako bi mjerenja na vagi bila što točnija i pouzdanija.

- namještanje ništice

Vage mogu biti opremljene uređajima za namještanje ništice. Djelovanje tih uređaja mora pružiti točno namještanje ništice, a ne smije uzrokovati neispravne rezultate mjerenja.

Ako proizvod, u ovom slučaju vaga, zadovolji sve zahtjeve prilikom ocjenjivanja sukladnosti tada se dobiva izjava o sukladnosti i stavlja se oznaka sukladnosti CE na proizvod. Oznaka sukladnosti CE nije oznaka kvalitete nekog proizvoda već oznaka kojom se prvenstveno dokazuje da je proizvod siguran za upotrebu.



Slika 5. Oznaka sukladnosti [3]

Tijelo za ocjenu sukladnosti neautomatskih vaga u Hrvatskoj je Državni zavod za mjeriteljstvo, a tijelo koje je dalo ocjenu sukladnosti vagi promatranoj u diplomskom radu je Češki mjeriteljski institut jer je ta vaga proizvedena u Češkoj.

3.1.1. Potrebno osoblje i oprema za provođenje postupka ovjeravanja

3.1.1.1. Potrebno osoblje

Za provođenje postupka ovjeravanja potreban je djelatnik laboratorija (mjeritelj) osposobljen za provedbu ovjeravanja neautomatskih vaga.

3.1.1.2. Potrebna oprema

Za postupak ovjeravanja neautomatskih vaga potrebna je sljedeća oprema:

- utezi odgovarajuće klase točnosti
- termometar
- hvataljke
- rukavice
- strojna libela

Ako se ispituje vaga razreda točnosti (I) potrebno je koristiti utege razreda točnosti E1 ili E2. Ako se ispituje vaga razreda točnosti (II) potrebno je koristiti utege razreda točnosti F1 ili F2. Ako se ispituje vaga razreda točnosti (III) ili (IIII) potrebno je koristiti utege razreda točnosti M1. Kod ispitivanja neautomatske precizne vage u ovom diplomskom radu koristila se garnitura utega F1 prikazana na slici 6.



Slika 6. Utezi razreda točnosti F1

Termometar se koristi kako bi se odredila temperatura zraka u prostoriji na početku i na kraju provođenja ispitivanja kako bi se utvrdilo da su uvjeti ispitivanja kroz cijelo ispitivanje bili ujednačeni. Na slici 7. može se vidjeti termometar.



Slika 7. Termometar

Hvataljke i rukavice su potrebne kako se utezi ne bi dirali masnim prstima jer svaki dodir utječe na promjenu mase utega. Tako precizni utezi visokih razreda točnosti zahtjevaju pravilnu uporabu. Na slici 8. lijepo se mogu vidjeti hvataljke za različite veličine utega i rukavice koje koristi mjeritelj za vrijeme ispitivanja.



Slika 8. Rukavice i hvataljke

3.1.2. Radna uputa za provođenje postupka ovjeravanja

3.1.2.1. Ispunjavanje osnovnih podataka

Prije provođenja postupka ovjeravanja potrebno je odrediti sljedeće opće podatke:

- podaci o vrsti ispitivanja (prva, redovna ili izvanredna ovjera)
- podaci o naručitelju/korisniku vage te podaci o mjestu ispitivanja vage
- podaci o ispitivanoj vagi kao što su tip mjerila, razred točnosti, serijski broj, službena oznaka, godina proizvodnje, podaci o *Min* i *Max* vage, podaci o podjeljcima *e* i *d*
- podaci o uvjetima okoliša kao što su temperatura, tlak, relativna vaga, da li je vaga u ravnoteži odnosno libeli, da li postoji nekakav propuh ili vibracije
- podaci o vizualnom pregledu koji se dobiju provjerom sa sukladnosti sa tipnim odobrenjem i provjeravanjem ispravnosti rada vage
- podaci o mjernoj opremi koja se koristi za ispitivanje vage

U tablici 3. lijepo se može vidjeti kako može izgledati jedno popunjavanje osnovnih podataka u postupku ovjeravanja.

Tablica 3. Tablica sa osnovnim podacima

Mjerni zapis o:					Datum:	
1. Podaci o naručitelju/korisniku i vagi						
Naručitelj/korisnik vage:						
Mjesto ispitivanja:						
Vrsta mjerila:				Razred točnosti:		
Proizvođač:				Tv./Ser. broj:		
Tip mjerila:				Službena oznaka:		
<i>Min:</i>		<i>Max:</i>		Godina proizvodnje:		
<i>e:</i>		<i>d:</i>		Razredba:		
2. Uvjeti okoliša						
		Jedinica	Vremenski uvjeti			
Temperatura		°C	Vaga u libeli	<input type="checkbox"/> da	<input type="checkbox"/> ne	
Tlak		mbar	Jak propuh	<input type="checkbox"/> da	<input type="checkbox"/> ne	
Relativna vlaga		%	Jake vibracije	<input type="checkbox"/> da	<input type="checkbox"/> ne	
3. Vizualni pregled						
				DA	NE	
Sukladnost vage sa tipnim odobrenjem						
Ispravno napisana natpisna pločica						
Ispravno djelovanje uređaja						
4. Mjerna oprema						
Proizvođač	Razred točnosti	Umjereno	Serijski broj	Broj umjernice		

3.1.2.2. Određivanje NDP - a

Vrijednost najveće dopuštene pogreške (NDP) pri ovjeravanju dane su u tablici 2. Vrijednosti NDP-a vrijede i pri opterećenju i pri rasterećenju vage.

3.1.2.3. Provjera točnosti ništice i ispitivanje vaganja

Provjeravanje točnosti ništice i ispitivanje vaganja provodi se sa najmanje pet ispitnih točaka počevši od nule. Ispitne točke moraju sadržavati *Min*, *Max* i vrijednosti koje odgovaraju točkama ili koje su blizu točkama za koje se najveća dopuštena pogreška (NDP) mijenja kako je prikazano u tablici 2. Masa utega treba se pažljivo odabrati kako bi se moglo osigurati pravilno ispitivanje vaganja. Prilikom stavljanja i skidanja utega teret treba postupno povećavati, odnosno smanjivati. Pogreška se izračunava u skladu sa sljedećim izrazom:

$$E = I - L \quad (6)$$

gdje je:

E = pogreška izražena u gramima

I = pokazivanje vage izraženo u gramima

L = teret iskazan u gramimam

Pogreška mora biti izražena u ispitnim podjeljcima, stoga npr. ako ispadne pogreška 0,01 g, a ispitni podjeljak vage iznosi $e = 0,1$ g, tada će pogreška biti zapisana u obliku $0,1 \cdot e$ kako bi se, kada se uvrsti podjeljak e , dobila pogreška $0,1 \cdot 0,1 = 0,01$ g. U tablici 4. može se vidjeti primjer na koji način se zapisuju rezultati ispitivanja vaganja i točnosti ništice.

Tablica 4. Točnost ništice i ispitivanje vaganja

Teret (L) (g)	Pokazivanje (I) (g) ↓ (g) ↑		Pogreška (E) ↓(e) ↑(e)		NDP (e)

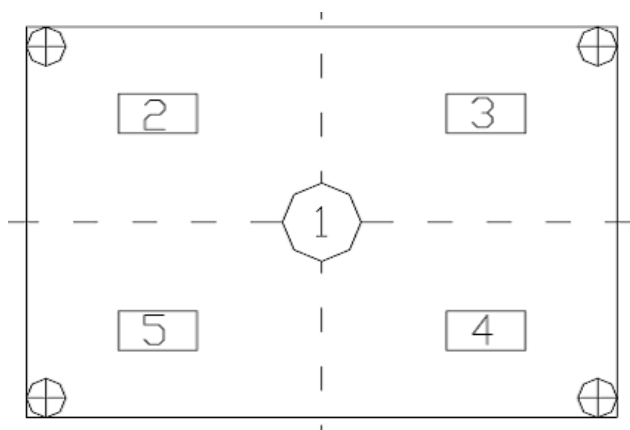
3.1.2.4. Ispitivanje vaganja s tarom

Ispitivanje vaganja s tarom provodi se na isti način kao i ispitivanje u točki 3.1.2.3., s time da se sada provodi sa najmanje dvije vrijednosti tare. Za taru se uzimaju vrijednosti približno

jednake 0,25 i 0,5 maksimalne sposobnosti vaganja (Max) vage. Za vrijednosti ispitnog tereta uzima se najmanje pet točaka. Pogreške se izračunavaju na isti način kao i kod ispitivanja u točki 3.1.2.3. Tablica za ispitivanje točnosti tare izgleda slično kao i tablica 4. samo što još ima podatak o vrijednosti tare.

3.1.2.5. Ispitivanje ekscentričnosti

Kod ispitivanja ekscentričnosti ispituje se rad vage u različitim točkama opterećenja vage. Za ispitivanje ekscentričnosti najbolje je upotrebljavati jedan veći uteg nego više manjih. Manji utezi se mogu stavljati na veće, ali mora se izbjegavati nepotrebno naslagivanje utega. Za provođenje ispitivanja ekscentričnosti u pravilu se koristi teret jednak $1/3$ maksimalne sposobnosti vaganja (Max) vage. Teret se mora postavljati u sredinu razmatranog područja ako se upotrebljava samo jedan uteg ili ravnomjerno na cijeli razmatrani dio ako se upotrebljava više utega.



Slika 9. Točke ispitivanja ekscentričnosti [4]

Označeni brojevi na slici 9. predstavljaju redoslijed ispitivanja ekscentričnosti vage.

3.1.2.6. Ispitivanje pokretljivosti

Ispitivanje pokretljivosti provodi se sa tri različita tereta L koja se stavljaju na vagu. Jedan teret mora biti minimalna vrijednost koju vaga važe, jedan teret mora biti polovica maksimalnog iznosa kojeg vaga može izvagati i jedan teret mora biti maksimalnog iznosa kojeg vaga može izvagati. Postupak ispitivanja pokretljivosti provodi se na sljedeći način:

- prvo se na vagu postavi teret L na prijemnik opterećenja i zabilježi se pokazivanje I
- potom se postavlja dodatni teret ili tzv. dometni utezi (10 puta $1/10 d$) na prijemnik opterećenja

- nakon toga se postupno skidaju dometni utezi sve dok pokazivanje ne padne za jednu vrijednost podjeljka
- zatim se jedan od dodatnih utega ponovno stavlja na prijemnik opterećenja i zabilježava se pokazivanje I_1
- nakon toga se postavlja teret jednak $1,4 \cdot d$ na prijemnik opterećenja i zabilježava pokazivanje I_2 . Vaga na kraju mora pokazivati jedan radni podjeljak (d) više od početnog pokazivanja kao što je prikazano sljedećom jednadžbom:

$$I_2 - I_1 = d \quad (7)$$

Ovaj postupak se provodi za sva tri različita tereta L koja se stavljaju na vagu prilikom ispitivanja pokretljivosti.

3.1.2.7. Ispitivanje ponovljivosti

Kod ispitivanja ponovljivosti koristi se ispitni teret L koji iznosi otprilike 50 % maksimalnog opterećenja (Max). Postupak ispitivanja ponovljivosti je sljedeći:



- prvo se postavlja vaga u ispravan položaj ništice.
- potom se postavlja teret L centrično na prijemnik opterećenja i zapisuje se rezultat pokazivanja I
- nakon toga se uklanja teret L
- zatim se treba provjeriti da li se vaga vratila u ništicu. Ako se vaga nije vratila u ništicu potrebno je nulirati vagu i ponoviti gore opisani postupak minimalno pet puta
- prema tome treba odrediti razliku maksimalnog i minimalnog pokazivanja vage, $I_{\max} - I_{\min}$
- ta razlika treba biti manja od najveće dozvoljene pogreške NDP.

3.1.3. Tumačenje rezultata i završne radnje u postupku ovjeravanja

Postupak ovjeravanja vage biti će uspješan samo ako sva odstupanja između rezultata dobivenih tijekom vaganja istog tereta nisu veća od apsolutne vrijednosti najveće dopuštene pogreške (NDP) za vagu pri tom teretu. Mjeritelj nakon završenog svakog pojedinog ispitivanja treba provjeriti sve dobivene rezultate i vidjeti da li su prihvatljivi, tj. da li je ispitivano mjerilo unutar najvećih dopuštenih pogrešaka. Ako su svi rezultati zadovoljavajući, mjeritelj treba prikladno označiti mjerilo koje je udovoljilo propisanim mjeriteljskim zahtjevima. Ako se radi o prvom ovjeravanju mjeritelj stavlja oznaku CE i oznaku M koje predstavljaju završetak ocjenjivanja sukladnosti i prve ovjere. Ako se pak radi o ponovnoj

ovjeri ili izvanrednoj ovjeri, tada se mjerilo označava sukladno pravilniku o označavanju od Državnog zavoda za mjeriteljstvo. Postupak ovjeravanja završava postavljanjem oznaka i izdavanjem ovjernice. U sljedećoj tablici mogu se vidjeti oznake koje se dobiju nakon provedene ocjene sukladnosti i prvog ovjeravanja te oznaka koja se dobije nakon ponovnog ili izvanrednog ovjeravanja.

Tablica 5. Oznake koje se stavljaju na mjerilo nakon ovjeravanja [7],[9]

	
Oznake koje se stavljaju na mjerilo nakon provedenih postupaka ocjene sukladnosti i prve ovjere.	Oznaka koja se stavlja na mjerilo nakon provedenog postupka ponovne ili izvanredne ovjere.

3.1.4. Određivanje mjerne nesigurnosti u postupku ovjeravanja

Mjerna nesigurnost je parametar koji se pridružuje mjernom rezultatu kako bi se odredila pouzdanost rezultata mjerenja. Mjerna nesigurnost daje interval unutar kojeg bi se trebala nalaziti prava vrijednost mjerene veličine nekog tereta. Postoje dva načina procjene mjerne nesigurnosti:

- procjena mjerne nesigurnosti tipa A
- procjena mjerne nesigurnosti tipa B

Procjena mjerne nesigurnosti tipa A određuje se raznim statističkim analizama dok se procjena mjerne nesigurnosti tipa B određuje preko prethodnih mjernih podataka, podataka sa umjernica ili ovjernica ili podataka iz priručnika. Određivanje mjerne nesigurnosti je tipično za sve postupke umjeravanja, a ne toliko za postupke ovjeravanja. U postupku ovjeravanja mjerna nesigurnost se zapravo ne računa, ali za potrebe nekih drugih mjerenja može se iskazati upravo postupkom procjene mjerne nesigurnosti tipa B i to samo ako je mjerilo zadovoljilo sve zahtjeve postupka ovjeravanja. Postupak procjene mjerne nesigurnosti tipa B izgleda na sljedeći način:

- prvo se za određenu masu odnosno ispitni teret koji se stavlja na vagu određuje najveća dopuštena pogreška (NDP) koja se može dobiti iz tablice 2.

- zatim se koristi izraz pravokutne razdiobe za proračun mjerne nesigurnosti tipa B:

$$U_{\text{ovjeravanje}} = \frac{2 \cdot \text{NDP}}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

Procjena mjerne nesigurnosti tipa B može se provesti za bilo koji teret koji se stavlja na vagu u rasponu od minimalnog do maksimalnog opterećenja vage. Izraz (8) predstavlja proširenu mjernu nesigurnost ovjeravanja.

3.2. Postupak umjeravanja

Postupak umjeravanja je postupak ispitivanja u tehničkom odnosno industrijskom području mjeriteljstva kojim se provodi usporedba mjerila s mjernim etalonom više točnosti da bi se za navedeno mjerilo dobili podaci o potrebnom eventualnom ispravku i mjernoj nesigurnosti koju treba uzimati u obzir. U ovom potpoglavlju bit će detaljno opisan postupak umjeravanja jedne neautomatske vage.

3.2.1. *Potrebno osoblje i oprema za provođenje postupka umjeravanja*

Za provođenje postupka umjeravanja koristit će se isto osoblje i oprema kao i prilikom provođenja postupka ovjeravanje vage što je opisano pod točkom 3.1.1.

3.2.2. *Pripremne radnje prije provođenja postupka umjeravanja*

3.2.2.1. *Čišćenje vage*

Prije postupka umjeravanja vagu treba očistiti i ukloniti sve predmete i nečistoće koje bi mogle utjecati na točnost mjerenja. Prilikom čišćenja treba koristiti sredstva koja neće oštetiti vagu.

3.2.2.2. *Postavljanje vage u vodoravan položaj*

Kako bi se postupak umjeravanja izveo pravilno, vagu treba postaviti na tvrdi i stabilnu podlogu koja je slobodna od vibracija. Pomoću podesivih nogica vagu treba dovesti u vodoravan položaj. Za provjeru vodoravnog položaja treba koristiti indikator na samoj vagi ako postoji ili strojnu libelu ako vaga nema indikator.

3.2.2.3. Uključivanje i provjera funkcionalnosti

Nakon čišćenja vage i postavljanja u vodoravni položaj, vagu treba uključiti i provjeriti ispravnost pokazivača (display), ispravnost tipki na vagi, ispravnost natpisa i oznaka, ispravnost sastavnih dijelova kao što su prijemnik opterećenja, elektronika, itd. U slučaju da vaga nije ispravna odnosno ako su uočene neke neispravnosti ili oštećenja koja mogu utjecati na rezultate umjeravanja, postupak umjeravanja se zaustavlja dok se oštećenja ne poprave ako ih je moguće popraviti.

3.2.2.4. Aklimatizacija utega

Prije postupka umjeravanja potrebno je aklimatizirati utege na temperaturu umjeravanog instrumenta, odnosno vage. Vrijeme aklimatizacije je najmanje 20 do 30 minuta. U sljedećoj tablici prikazana su vremena aklimatizacije utega u ovisnosti o početnoj temperaturnoj razlici između utega i vage.

Tablica 6. Vrijeme aklimatizacije utega u satima [10]

ΔT / K	20					10				5		
T_k / ppm	1	2	5	10	20	1	2	5	10	1	2	5
Uteg												
10 kg	16:30	12:45	8:00	4:15	0:40	12:45	9:00	4:15	0:40	9:00	5:30	0:40
5 kg	12:15	9:45	6:15	3:45	1:20	9:45	7:15	3:45	1:20	7:15	4:45	1:20
2 kg	8:00	6:30	4:30	3:00	1:30	6:30	5:00	3:00	1:30	5:00	3:30	1:30
1 kg	6:00	4:45	3:30	2:30	1:20	4:45	3:45	2:30	1:20	3:45	2:45	1:20
500 g	4:00	3:30	2:30	1:50	1:10	3:30	2:45	1:50	1:10	2:45	2:00	1:10
200 g	2:30	2:10	1:40	1:15	0:50	2:10	1:45	1:15	0:50	1:45	1:20	0:50
100 g	1:45	1:30	1:10	0:50	0:40	1:30	1:15	0:50	0:40	1:15	1:00	0:40
50 g	1:10	1:00	0:45	0:40	0:30	1:00	0:45	0:40	0:30	0:50	0:40	0:30
20 g	0:45	0:40	0:30	0:20	0:20	0:40	0:30	0:20	0:20	0:30	0:30	0:20

gdje je:

ΔT - početna razlika između temperature utega i instrumenta

T_k - temperaturni koeficijent vage (pročitati iz uputa proizvođača)

Ako se ne provede aklimatizacija utega u odnosu na vagu koja se ispituje rast će mjerna nesigurnost radi djelovanja konvekcije. Utjecaj djelovanja konvekcije raste povećavanjem razlike temperature između utega i okoliša.

3.2.3. Radna uputa za provođenje postupka umjeravanja

3.2.3.1. Zagrijavanje vage

Prije početka postupka umjeravanja vaga treba biti uključena minimalno 30 minuta ili više ako je tako propisao proizvođač.

3.2.3.2. Predopterećenje vage

Prije nego se započne postupak umjeravanja, vagu treba jednokratno predopteretiti s oko $0,8 \cdot Max$ ili većim opterećenjem.

3.2.3.3. Kontrola točnosti

Kontrola točnosti je postupak podešavanja odnosno ugađanja vage prije izvršavanja umjeravanja. Kontrola točnosti provodi se sa ispitnim teretom P koji se kreće u intervalu od:

$$0,8 \cdot Max \leq P \leq Max \text{ (za područje mjerenja vage)}$$

Postupak kontrole točnosti je sljedeći:

- prvo je potrebno postaviti vagu u ispravan položaj nule
- zatim je potrebno postaviti ispitni teret P centrično na prijemnik opterećenja vage i zapisati mjerni rezultat
- zatim se uklanja opterećenje
- nakon uklanjanja opterećenja potrebno je provjeriti da li se vaga vratila točno u nulu te ako nije potrebno ju je nulirati odnosno svesti na nulu → **podešavanje vage**
- provođenje postupka podešavanja treba vršiti u skladu s uputama proizvođača vage
- nakon podešavanja vage potrebno je ponoviti cijeli postupak s identičnim ispitnim teretom P

3.2.3.4. Ispitivanje ponovljivosti

Za ispitivanje ponovljivosti potrebno je učiniti najmanje 5 mjerenja. Ispitivanje ponovljivosti vage provodi se sa ispitnim teretom P za koji vrijedi:

$$0,5 \cdot Max \leq P \leq Max$$

Za ispitivanje ponovljivosti vage potrebno je koristiti ispitni teret P koji se sastoji od jednog tijela, tj. jednog utega ako je to moguće. Postupak ispitivanja ponovljivosti vage provodi se na sljedeći način:

- prvo je potrebno postaviti vagu u ispravan položaj nule
- zatim se postavlja opterećenje P centrično na prijemnik opterećenja i zapisuje dobiveni mjereni rezultat
- potom se uklanja opterećenje sa prijemnika opterećenja vage
- provjerava se da li se vaga vratila u nulu, a ako nije, vaga se nulira
- potom se ponavlja postupak za svih 5 mjerenja

3.2.3.5. Ispitivanje ekscentričnosti

Prilikom ispitivanja ekscentričnosti ispitni teret P mora biti najmanje $\frac{Max}{3}$. Za ispitni teret bolje je koristiti jedan veći uteg nego više manjih. Kada se koristi jedan uteg on se treba postaviti centralno unutar segmenta prijemnika opterećenja vage, a ako se koristi više manjih utega tada se oni postavljaju jedan na drugi iznad pojedinog segmenta prijemnika opterećenja vage. Ispitivanje ekscentričnosti kod umjeravanja provodi se na sličan način kao ispitivanje ekscentričnosti kod ovjeravanja. Prema slici 9. određuje se redoslijed i polaganje ispitnog tereta P na vagu za vrijeme ispitivanja ekscentričnosti kod umjeravanja.

3.2.3.6. Ispitivanje vaganja

Prilikom ispitivanja vaganja potrebno je provesti najmanje 5 mjerenja. Postupak ispitivanja vaganja je sljedeći:

- prvo je potrebno postaviti vagu u ispravan položaj nule
- zatim je potrebno postaviti ispitni teret P_1 centralno na prijemnik opterećenja vage i zapisati rezultat
- nakon toga se uklanja opterećenje P_1
- treba provjeriti da li se vaga vratila u nulu, a ako nije, vagu je potrebno nulirati
- nakon toga postupak se ponavlja za sva opterećenja od P_2 do P_5

Mogu se provoditi dodatna dva mjerenja sa tariranjem tereta. Šesto mjerenje se provodi na sljedeći način:

- vagu se postavlja u ispravan položaj nule
- zatim se postavlja tara teret T_1 na prijemnik opterećenja ekscentrično
- zatim se tarira vaga odnosno taj iznos tereta sada predstavlja novu nulu vage
- zatim se postavlja ispitni teret P_1 centralno na prijemnik opterećenja vage

- zapisuje se rezultat
- zatim se uklanja opterećenje P_1
- na kraju se provjerava da li se vaga vratila u nulu, te po potrebi treba nulirati vagu

Sedmo mjerenje se provodi na sličan način:

- prvo se vaga postavlja u ispravan položaj nule
- zatim se postavlja ispitni teret P_2 centralno na prijemnik opterećenja i zapisuje se izmjereni rezultat
- zatim se uklanja opterećenje P_2
- zatim se uklanja tara teret T_1
- na kraju postupka vaga se nulira

Cijeli postupak ispitivanja vaganja kao i određivanje vrijednosti ispitnih tereta i tara tereta bi trebalo izgledati kao u tablici 7.

Tablica 7. Ispitivanje vaganja

Mjerenje i	Tara-teret T_i	Ispitni teret P_i	
1	0	P_1	$P_1 \approx Min$
2	0	P_2	$P_2 \approx 0,25 Max$
3	0	P_3	$P_3 \approx 0,5 Max$
4	0	P_4	$P_4 \approx 0,75 Max$
5	0	P_5	$P_5 \approx Max$
6	T_1	P_1	$T_1 = 0,1 \dots 0,5 Max$ (područje)
7	T_1	P_2	$T_1 + P_2 \leq Max$

3.2.4. Određivanje mjerne nesigurnosti u postupku umjeravanja

Procjena mjerne nesigurnosti specifična je za postupak umjeravanja i vrši se po propisanom postupku EURAMET/cg-18; *Upute za umjeravanja neautomatskih vaga*. Mjerna nesigurnost je količinska mjera kvalitete nekog mjernog rezultata koja omogućava da se mjerni rezultati mogu uspoređivati s nekim drugim rezultatima, referencijama, etalonima. Kako bi se mjerna nesigurnost pravilno procijenila potrebno je odrediti sve utjecajne parametre koji utječu na mjernu nesigurnost u mjerenju. Što se više različitih uzroka mjerne nesigurnosti odredi, to će rezultati procjene mjerne nesigurnosti biti točniji. Parametri ili veličine koje utječu na mjernu nesigurnost vage su:

- parametri vage:
 - ponovljivost s opterećenjem u sredini
 - pogreška zbog ekscentričnog opterećenja
 - pogreška pokazivanja
- utjecaj etalona:
 - utjecaj klizanja mase
 - pogreška vaganja neto mase
 - utjecaj uzgona
 - utjecaj konvekcije

U sljedećim potpoglavljim detaljnije će biti objašnjeno računanje mjernih nesigurnosti zbog navedenih parametara.

3.2.4.1. Mjerne nesigurnosti zbog parametara vage

a) Mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti vage

Mjerna nesigurnost ponovljivosti vage je mjerna nesigurnost tipa A i računa se pomoću izmjerenih podataka dobivenih pod točkom 3.2.3.4. diplomskog rada prema sljedećim statističkim izrazima:

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_i \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (I_i - \bar{I})^2} \quad (10)$$

$$u_{\text{pon}} = s \quad (11)$$

gdje je:

i - indeks pojedinačnog mjerenja

n - broj mjerenja

I_i - iskazani (pokazani) mjerni rezultat

\bar{I} - aritmetička sredina iskazanih mjernih rezultata

s - standardna devijacija

u_{pon} – mjerna nesigurnost ponovljivosti vage

b) Mjerna nesigurnost zbog ekscentričnog opterećenja

Mjerna nesigurnost zbog ekscentričnosti vage izračunava se iz izmjerenih podataka iz točke 3.2.3.5. diplomskog rada na sljedeći način:

$$|\Delta I_{ecc,i}|_{\max} = I_1 - I_i \quad (12)$$

$$u_{eks} = \left[|\Delta I_{ecc,i}|_{\max} / (2 \cdot L_{ecc} \cdot \sqrt{3}) \right] \cdot R \quad (13)$$

gdje je:

I_1 – mjerni rezultat na sredini mjerne plohe vage

I_i – mjerni rezultati na kutevima mjerne plohe vage

$|\Delta I_{ecc,i}|_{\max}$ – najveća apsolutna greška između očitavanja na sredini i na kutevima mjerne plohe

L_{ecc} – ispitni teret pri ispitivanju ekscentričnosti

R – masa etalona

Izraz (13) prilično je kompliciran. Dio jednadžbe koji se nalazi unutar uglatih zagrada odnosi se na podatke koji su određeni sa ispitivanjem ekscentričnosti dok parametar R utječe na povećanje ili smanjenje mjerne nesigurnosti zbog ekscentričnog opterećenja jer mjerna nesigurnost neće biti jednaka ako se na vagu stavlja uteg od 100 g ili ako se na vagu stavlja uteg od 500 g ili veći.

c) Mjerna nesigurnost zbog pogreške pokazivanja

Mjernu nesigurnost zbog pogreške pokazivanja treba uzeti u obzir kada na vagi uopće nema tereta i kada na vagi postoji teret. Kada na vagi ne postoji teret ona pokazuje nulu, ali za to pokazivanje postoji mjerna nesigurnost. Kada se na vagu postavi teret tada vaga prikazuje masu tereta i taj mjerni rezultat također ima svoju mjernu nesigurnost koja se treba uzeti u obzir. Mjerna nesigurnost se procjenjuje prema sljedećim izrazima:

$$u(\delta I_{dig0}) = d_0 / (2 \cdot \sqrt{3}) \quad (14)$$

$$u(\delta I_{digL}) = d_1 / (2 \cdot \sqrt{3}) \quad (15)$$

gdje je:

d_0 – radni podjeljak vage bez tereta

d_1 – radni podjeljak vage sa teretom (ovisi o masi tereta)

Izraz (14) odnosi se na mjernu nesigurnost zbog pogreške pokazivanja kada na vagi uopće nema tereta dok se izraz (15) odnosi na mjernu nesigurnost zbog pogreške pokazivanja kada

na vagi postoji teret. Radni podjeljak vage bez tereta d_0 i radni podjeljak vage sa teretom d_1 kod nekih vaga su različiti dok su kod nekih vaga isti. Bez obzira jesu li radni podjeljci isti ili različiti u ukupnu mjernu nesigurnost moraju biti uključena oba izraza.

3.2.4.2. Mjerne nesigurnosti zbog utjecaja etalona

Prije određivanja mjerne nesigurnosti etalonskog utega potrebno je prikazati što sve čini referentnu masu etalonskog utega.

$$m_{\text{ref}} = m_{\text{N}} + \delta m_{\text{c}} + \delta m_{\text{B}} + \delta m_{\text{D}} + \delta m_{\text{conv}} \dots \quad (16)$$

gdje je:

m_{N} – nazivna masa

δm_{c} – ispravak nazivne mase

δm_{B} – ispravak zbog uzgona

δm_{D} – ispravak zbog mogućeg klizanja mase

δm_{conv} – ispravak zbog utjecaja konvekcije

m_{ref} – referentna masa

Svi navedeni ispravci δm_{c} , δm_{B} , δm_{D} , δm_{conv} imaju svoju mjernu nesigurnost. Kada se zbroje sve mjerne nesigurnosti ispravaka dobije se ukupna mjerna nesigurnost zbog utjecaja etalonskog utega.

a) Mjerna nesigurnost ispravka nazivne mase

Mjerna nesigurnost ispravka nazivne mase može se računati na dva načina:

$$u(\delta m_{\text{c}}) = U/k \quad (17)$$

$$u(\delta m_{\text{c}}) = Mpe/\sqrt{3} \quad (18)$$

gdje je:

U – proširena mjerna nesigurnost etalonskog utega

k – faktor pokrivanja

Mpe – najveća dopuštena pogreška etalonskog utega

$u(\delta m_{\text{c}})$ – mjerna nesigurnost ispravka nazivne mase

Izraz (17) koristi se u slučaju ako postoji umjernica etalonskog utega koji se koriste pri umjeravanju. Tada se iz umjernice uzimaju podaci o proširenoj mjernoj nesigurnosti etalonskog utega U i faktora pokrivanja k . Ako ne postoji umjernica za etalonske utege koji se

koriste pri umjeravanju, tada se za potrebe ispitivanja može koristiti izraz (18). Tada se M_{pe} za etalonske utege određuje prema sljedećoj tablici:

Tablica 8. Najveće dopuštene pogreške etalonskih utega (M_{pe} u mg) [11]

Nazivna vrijednost ^a	Razred E ₁	Razred E ₂	Razred F ₁	Razred F ₂	Razred M ₁	Razred M ₁₋₂	Razred M ₂	Razred M ₂₋₃	Razred M ₃
5 000 kg			25 000	80 000	250 000	500 000	800 000	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
1 000 kg		1 600	5 000	16 000	50 000	100 000	160 000	300 000	500 000
500 kg		800	2 500	8 000	25 000	50 000	80 000	160 000	250 000
200 kg		300	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000	60 000	100 000
100 kg		160	500	1 600	5 000	10 000	16 000	30 000	50 000
50 kg	2,5	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		10 000
10 kg	5	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2,5	8,0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1,0	3,0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0,5	1,0	5,0	16	50		160		500
500 g	0,25	0,8	2,5	8,0	25		80		250
200 g	0,10	0,3	1,0	3,0	10		30		100
100 g	0,05	0,16	0,5	1,6	5,0		16		50
50 g	0,03	0,10	0,3	1,0	3,0		10		30
20 g	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5		8,0		25
10 g	0,020	0,06	0,20	0,6	2,0		6,0		20
5 g	0,016	0,05	0,16	0,5	1,6		5,0		15
2 g	0,012	0,04	0,12	0,4	1,2		4,0		12
1 g	0,010	0,03	0,10	0,3	1,0		3,0		10
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8		2,5		
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6		2,0		
100 mg	0,005	0,016	0,05	0,16	0,5		1,6		
50 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4				
20 mg	0,003	0,010	0,03	0,10	0,3				
10 mg	0,003	0,008	0,025	0,08	0,25				
5 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				
2 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				
1 mg	0,003	0,006	0,020	0,06	0,20				

b) Mjerna nesigurnost zbog utjecaja uzgona

Mjerna nesigurnost zbog utjecaja uzgona računa se prema sljedećem izrazu:

$$u(\delta m_B) = \frac{M_{pe}}{4 \cdot \sqrt{3}} \quad (19)$$

gdje je:

M_{pe} – najveća dopuštena pogreška etalonskog utega

$u(\delta m_B)$ – mjerna nesigurnost zbog utjecaja uzgona

c) Mjerna nesigurnost zbog mogućeg klizanja mase

Ova mjerna nesigurnost računa se zbog mogućeg klizanja mase etalonskog utega od posljednjeg umjeravanja. Izraz za mjernu nesigurnost zbog mogućeg klizanja mase je sljedeći:

$$u(\delta m_D) = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} \quad (20)$$

d) Mjerna nesigurnost radi djelovanja konvekcije

Utjecaj konvekcije na mjerenje mase dolazi do izražaja što je veća razlika temperature etalonskog utega koji se stavlja na vagu i temperature okoliša. Ako je uteg topliji u odnosu na okoliš, tijek gibanja zraka usmjeren je prema gore i „guranje“ utega je usmjereno prema gore. Ako je uteg hladniji u odnosu na okoliš, tijek gibanja zraka je prema dolje i „pritiskanje“ utega je usmjereno prema dolje. Takvi tijekovi zraka izazivaju veće ili manje sile trenja na okomitu plohu utega i potisne ili vučne sile na njegovu vodoravnu plohu. Kao rezultat utjecaja konvekcije dolazi do prividne promjene mase etalonskog utega. Mjerna nesigurnost zbog djelovanja konvekcije određena je izrazom (21) i koristi se samo u slučaju ako se nije provela aklimatizacija utega.

$$u(\delta m_{\text{conv}}) = \frac{\Delta m_{\text{conv}}}{\sqrt{3}} \quad (21)$$

gdje je:

Δm_{conv} – promjena mase zbog konvekcije

Promjena mase zbog konvekcije Δm_{conv} uzima se iz sljedeće tablice:

Tablica 9. Prividna promjena mase zbog utjecaja konvekcije [10]

Promjena Δm_{conv} u mg normalnog utega za odabrane temperaturne razlike ΔT								
	ΔT u K							
m u kg	20	15	10	7	5	3	2	1
50	113,23	87,06	60,23	43,65	32,27	20,47	14,30	7,79
20	49,23	38,00	26,43	19,25	14,30	9,14	6,42	3,53
10	26,43	20,47	14,30	10,45	7,79	5,01	3,53	1,96
5	14,30	11,10	7,79	5,72	4,28	2,76	1,96	1,09
2	6,42	5,01	3,53	2,61	1,96	1,27	0,91	0,51
1	3,53	2,76	1,96	1,45	1,09	0,72	0,51	0,29
0,5	1,96	1,54	1,09	0,81	0,61	0,40	0,29	0,17
0,2	0,91	0,72	0,51	0,38	0,29	0,19	0,14	0,08
0,1	0,51	0,40	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08	0,05
0,05	0,29	0,23	0,17	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03
0,02	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01
0,01	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

3.2.4.3. Kombinirana mjerna nesigurnost postupka umjeravanja

Kombinirana mjerna nesigurnost postupka umjeravanja sastoji se od svih mjernih nesigurnosti parametara vage i svih mjernih nesigurnosti zbog utjecaja etalonskih utega.

$$u(E) = \sqrt{\begin{aligned} &u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) \\ &+ u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_c) \\ &+ u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{\text{conv}}) \end{aligned}} \quad (22)$$

3.2.4.4. Proširena mjerna nesigurnost postupka umjeravanja

Proširena mjerna nesigurnost prikazuje umnožak kombinirane mjerne nesigurnosti $u(E)$ i faktora pokrivanja k . Proširena mjerna nesigurnost iskazuje se kako bi se dodatno povećala pouzdanost ukupne mjerne nesigurnosti te se određuje na sljedeći način:

$$U(E) = k \cdot u(E) \quad (23)$$

Faktor pokrivanja k računa se za razinu povjerenja $\beta = 95,45 \%$ i obično iznosi 2. Međutim, ponekad faktor pokrivanja k može biti veći od 2 kako bi se postigla pouzdanost od 95,45 % i tada se on određuje pomoću efektivnog broja stupnjeva slobode koji se određuje prema Welch-Satterthwaiteovu izrazu:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum \frac{u_i^4}{v_i}} \quad (24)$$

gdje je:

$u_c = u(E)$ – kombinirana mjerna nesigurnost postupka umjeravanja

u_i – i -ta mjerna nesigurnost postupka umjeravanja

v_i - broj stupnjeva slobode i -tog doprinosa mjernoj nesigurnosti

Za mjernu nesigurnost tipa A broj stupnjeva slobode jednak je:

$$v_i = n_i - 1 \quad (25)$$

gdje je :

n_i – broj mjerenja

Za mjernu nesigurnost tipa B broj stupnjeva slobode se procjenjuje da iznosi $v_i = \infty$. Kada se odredi efektivan broj stupnjeva slobode v_{eff} , tada se pomoću tablice 10. određuje vrijednost faktora pokrivanja k s obzirom na pouzdanost koju se želi postići.

Tablica 10. Određivanje faktora pokrivanja k [12]

Broj stupnjeva slobode ν	Dio p u postocima					
	68,27 ^(a)	90	95	95,45 ^(a)	99	99,73 ^(a)
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

4. PRIKAZ REZULTATA MJERENJA I PRORAČUNA MJERNE NESIGURNOSTI OVJERAVANJA I UMJERAVANJA

Glavni zadatak ovog diplomskog rada bio je provesti postupke ovjeravanja i umjeravanja na jednoj vagi. Vaga koja će se ispitivati je precizna neautomatska vaga proizvođača RADWAG tipa PS 2100. R2. Na slici 10. može se vidjeti kako izgleda vaga PS 2100. R2, a na slici 11. vide se neke najvažnije karakteristike te vage.



Slika 10. Vaga proizvođača RADWAG tipa PS 2100. R2

Max capacity [Max]	2100 g
Minimum load	500 mg
Readability [d]	10 mg
Tare range	-2100 g
Repeatability	10 mg
Linearity	±20 mg
Stabilization time	1,5 s
Pan Size	195×195 mm
Sensitivity drift	2 ppm/°C in temperature +10 - +40 °C
Working temperature	+10 - +40 °C
Power supply	12 ÷ 16 V DC
Adjustment/Calibration	internal (automatic)
Display	LCD (backlit)
Interface	2×RS 232, USB-A, USB-B, WiFi (option)
Net weight/gross weight	4,8/6,3 kg
Packaging size	470×380×336 mm

Slika 11. Osnovne karakteristike vage PS 2100. R2 [15]

Ovjeravanje i umjeravanje vage provodilo se u laboratoriju za masu poduzeća Vage d.o.o. Laboratorij za masu poduzeća Vage d.o.o. akreditiran je od strane Hrvatske akreditacijske agencije (HAA) prema normama HRN EN ISO/IEC 17025 i HRN EN ISO/IEC 17020. Norma HRN EN ISO/IEC 17025 određuje zahtjeve za osposobljenost laboratorija za provedbu ispitivanja i umjeravanja, dok norma HRN EN ISO/IEC 17020 određuje opće zahtjeve za osposobljenost laboratorija da provodi inspekciju odnosno ponovno ovjeravanje prema akreditiranom postupku HRN EN ISO/IEC 45501.

4.1. Rezultati postupka ovjeravanja

4.1.1. Mjerni rezultati postupka ovjeravanja

Na vagi PS 2100. R2 provedena je izvanredna ovjera. Prva ovjera te vage već je izvedena u Češkoj u sklopu dobivanja ocjene sukladnosti, dok ponovna ovjera još nije došla na red jer nije prošlo zadnje ovjerno razdoblje.

Tablica 11. Osnovni podaci o korisniku i vagi

Mjerni zapis o: <i>IZVANREDNOM OVJERAVANJU</i>					Datum: <i>05.06.2016.</i>	
1. Podaci o naručitelju/korisniku i vagi						
Naručitelj/korisnik vage: <i>FSB – diplomski rad</i>						
Mjesto ispitivanja: <i>umjerni laboratorij za masu poduzeća VAGE d.o.o.</i>						
Vrsta mjerila: <i>PRECIZNA NEAUTOMATSKA VAGA</i>				Razred točnosti: <i>II</i>		
Proizvođač: <i>RADWAG</i>				Tv./Ser. broj: <i>492720</i>		
Tip mjerila: <i>PS 2100. R2</i>				Službena oznaka: <i>TCM 128/13 - 5096</i>		
<i>Min: 0,5 g</i>		<i>Max: 2100 g</i>		Godina proizvodnje: <i>2016</i>		
<i>e: 0,1 g</i>		<i>d: 0,01 g</i>		Razredba: <i>JEDNOPODRUČNA VAGA</i>		
2. Uvjeti okoliša						
		Jedinica	Vremenski uvjeti			
Temperatura	<i>23,1</i>	°C	Vaga u libeli	<input checked="" type="checkbox"/> da	<input type="checkbox"/> ne	
Tlak	<i>1018</i>	mbar	Jak propuh	<input type="checkbox"/> da	<input checked="" type="checkbox"/> ne	
Relativna vlaga	<i>49</i>	%	Jake vibracije	<input type="checkbox"/> da	<input checked="" type="checkbox"/> ne	
3. Vizualni pregled						
				DA	NE	
Sukladnost vage sa tipnim odobrenjem				<i>X</i>		
Ispravno napisana natpisna pločica				<i>X</i>		
Ispravno djelovanje uređaja				<i>X</i>		
4. Mjerna oprema (utezi)						
Proizvođač	Razred točnosti	Umjereno	Serijski broj	Broj umjernice		
<i>KERN</i>	<i>F1</i>	<i>19.04.2016.</i>	<i>GRT 12</i>	<i>2016-060-01</i>		

Nakon ispunjenih osnovnih podataka potrebno je provjeriti točnost ništice i provesti ispitivanje vaganja. Dobiveni mjerni rezultati mogu se vidjeti u tablici 12.

Tablica 12. Mjerni rezultati provjere točnosti ništice i ispitivanja vaganja

5. Točnost ništice i ispitivanje vaganja					
Teret (<i>L</i>) (g)	Pokazivanje (<i>I</i>) (g) ↓ (g) ↑		Pogreška (<i>E</i>) ↓(e) ↑(e)		NDP (e)
0	0,00	- 0,01	/	- 0,1	± 0,25 / ± 0,5
0,5	0,51	0,50	+ 0,1	/	± 0,5
500	500,01	500,01	+ 0,1	+ 0,1	± 0,5
1000	1000,01	1000,01	+ 0,1	+ 0,1	± 1
1500	1500,00	2000,00	/	/	± 1
2100	2100,00		/		± 1,5

Kod provjere točnosti ništice i ispitivanja vaganja provjerava se da li je pogreška *E* unutar granica najveće dozvoljene pogreške (NDP). Prema tablici 12. svi mjerni rezultati provjere točnosti ništice i ispitivanja vaganja zadovoljavaju. Važno je naglasiti da će se vrijednosti pogreške (*E*) označene crvenom bojom koristiti kod izražavanja mjerne nesigurnosti kod ovjeravanja što će se prikazati kasnije u tekstu. Nakon provjere točnosti ništice i ispitivanja vaganja provodi se ispitivanje vaganja s tarom. Rezultati ispitivanja vaganja s tarom su sljedeći:

Tablica 13. Mjerni rezultati ispitivanja vaganja s tarom

6. Točnost tare i tara					
Vrijednost prve tare: 500 g					
Teret (<i>L</i>) (g)	Pokazivanje (<i>I</i>) (g) ↓ (g) ↑		Pogreška (<i>E</i>) ↓(e) ↑(e)		NDP (e)
0	0,00	0,00	/	/	± 0,25 / ± 0,5
0,5	0,50	0,50	/	/	± 0,5
500	500,01	500,01	+ 0,1	+ 0,1	± 0,5
1000	1000,01	1000,01	+ 0,1	+ 0,1	± 1
1600	1600,01		+ 0,1		± 1
Vrijednost druge tare: 1000 g					
Teret (<i>L</i>) (g)	Pokazivanje (<i>I</i>) (g) ↓ (g) ↑		Pogreška (<i>E</i>) ↓(e) ↑(e)		NDP (e)
0	0,00	0,00	/	/	± 0,25 / ± 0,5
0,5	0,50	0,50	/	/	± 0,5
500	500,00	500,00	/	/	± 0,5
1000	999,99	1000,00	- 0,1	/	± 1
1100	1099,99		- 0,1		± 1

U tablici 13. vidi se da se za ispitivanje vaganja s tarom koristilo dvije različite tare. Jedna tara je 500 g, a druga tara je 1000 g. Kada se na vagu stavi tara, tada se vaga tarira odnosno ta vrijednost se stavlja na nulu. Nakon toga se na vagu dodaju utezi od 0,5 g, 500 g, 1000 g i

1500 g te se zabilježavaju rezultati pokazivanja I u uzlaznom smjeru odnosno smjeru stalnog povećanja mase na vagi i silaznom smjeru odnosno smjeru stalnog smanjivanja mase na vagi. Svi rezultati ispitivanja vaganja sa tarom zadovoljavaju jer se sve pogreške E nalaze unutar granica NDP - a. Nakon ispitivanja vaganja s tarom ispituje se ekscentričnost vage. Rezultati ispitivanja ekscentričnosti mogu se vidjeti u tablici 14.

Tablica 14. Mjerni rezultati ispitivanja ekscentričnosti

7. Ekscentričnost			
Teret L : 700 g			
Pozicija	Pokazivanje (I) (g)	Pogreška (E) (e)	NDP (e)
* 0	0,00	/	$\pm 0,25 / \pm 0,5$
1	700,01	+ 0,1	± 1
2	700,01	+ 0,1	± 1
3	700,00	/	± 1
4	700,01	+ 0,1	± 1
5	700,02	+ 0,2	± 1

U tablici 14. može se vidjeti da se sve pogreške (E) nalaze unutar granica NDP – a stoga svi mjerni rezultati ispitivanja ekscentričnosti zadovoljavaju. Bitno je naglasiti da se kod ispitivanja ekscentričnosti ispitni teret stavlja redosljedno na pozicije vage prema slici 9. Pozicija 0, koja ne postoji na slici 9., predstavlja pokazivanje vage kada na vagu još nije postavljen teret L . Nakon ispitivanja ekscentričnosti potrebno je ispitati pokretljivost vage. Rezultati mjerenja pokretljivosti vage mogu se vidjeti u tablici 15.

Tablica 15. Mjerni rezultati ispitivanja pokretljivosti

8. Ispitivanje pokretljivosti				
Teret (L) (g)	Pokazivanje (I) (g)	I_1	I_2	$I_2 - I_1$
0,5	0,50	0,51	0,52	0,01
1000	1000,01	1000,02	1000,03	0,01
2100	2100,00	2100,01	2100,02	0,01

Rezultati mjerenja ispitivanja pokretljivosti su zadovoljili jer sve razlike u zadnjem stupcu tablice 15. iznose 0,01 g i jednake su radnom podjeljku vage d . Nakon ispitivanja pokretljivosti potrebno je još ispitati ponovljivost vage. Rezultati mjerenja ponovljivosti vage mogu se vidjeti u tablici 16.

Tablica 16. Mjerni rezultati ispitivanja ponovljivosti

9. Ispitivanje ponovljivosti		
Teret L : 1000 g		
r. br.	Pokazivanje (I) (g)	
1	1000,01	$I_{\max} - I_{\min}$ (g)
2	1000,01	0,01
3	1000,01	$I_{\max} - I_{\min}$ (e)
4	1000,00	0,1
5	1000,01	NDP (e)
6	1000,01	± 1

Mjerni rezultati ispitivanja ponovljivosti također zadovoljavaju jer se nalaze unutar granica NDP –a. S ovim ispitivanjem završava postupak ovjeravanja. Ako su svi mjerni rezultati unutar granica NDP – a vaga uspješno prolazi postupak ovjeravanja. Ako je samo jedan podatak izvan ovih granica vaga se ne može ovjeriti i ne može se koristiti u području zakonskog mjeriteljstva. Promatrajući rezultate ovjeravanja može se zaključiti da je neautomatska vaga proizvođača RADWAG tipa PS 2100. R2 izrazito kvalitetna i točna, a to je vjerojatno zato jer je vaga novija i još nije puno korištena.

4.1.2. Procjena mjerne nesigurnosti ovjeravanja

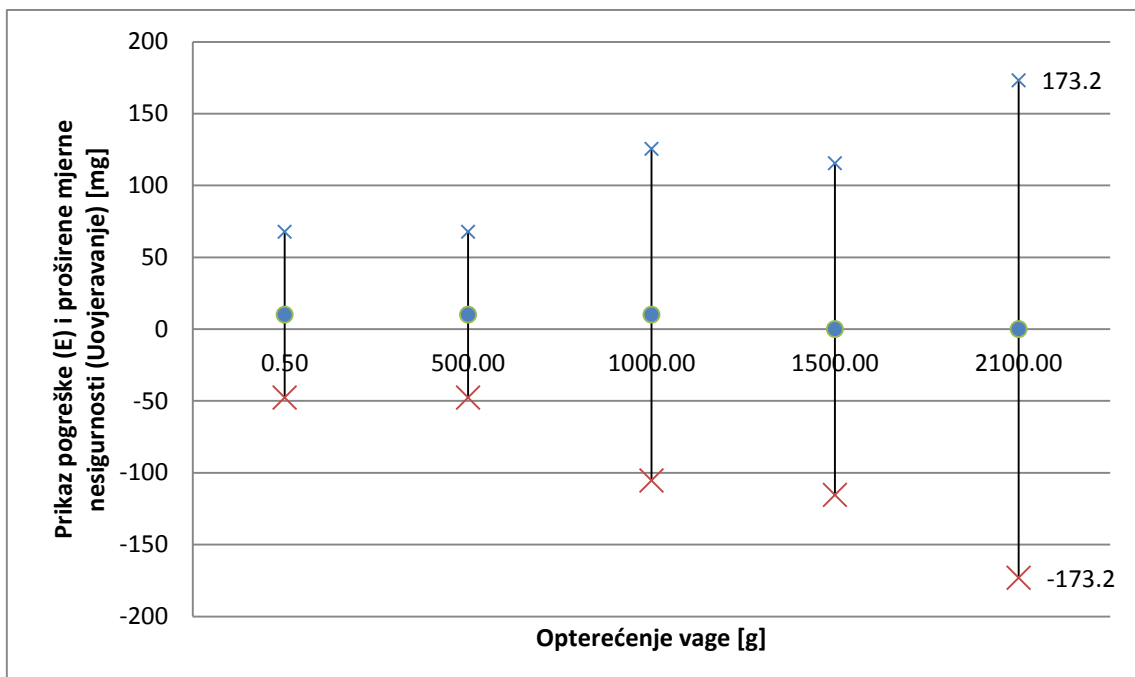
Mjerna nesigurnost nikad se ne prikazuje u postupku ovjeravanja, ali se može prikazati ako se npr. želi usporediti sa mjernom nesigurnošću koja se dobije u postupku umjeravanja. Korištenjem izraza (8) i tablice 2. mogu se dobiti mjerne nesigurnosti mjernih rezultata vage u ovisnosti o povećanju opterećenja koje se stavlja na vagu:

$$U_{\text{ovjeravanje}_{0,500}} = \frac{2 \cdot \text{NDP}_{0,500}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot e}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = 0,05774 \text{ g} = 57,74 \text{ mg}$$

$$U_{\text{ovjeravanje}_{501,2000}} = \frac{2 \cdot \text{NDP}_{501,2000}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot e}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = 0,11547 \text{ g} = 115,47 \text{ mg}$$

$$U_{\text{ovjeravanje}_{2001,2100}} = \frac{2 \cdot \text{NDP}_{2001,2100}}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot e}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = 0,1732 \text{ g} = 173,2 \text{ mg}$$

Uz mjerne nesigurnosti potrebno je odrediti pogreške vaganja (E) pri stavljanju određenih tereta na vagu. Te pogreške, s obzirom da nije uobičajeno za ovjeravanje, uzimaju se iz tablice 12. i to samo pri uzlaznom ispitivanju vaganja. Vrijednosti pogrešaka vaganja (E) koje će se uzeti u razmatrenje su označene crvenom bojom u tablici 12. Na sljedećoj slici može se vidjeti kako se grafički prikazuje proširena mjerna nesigurnost postupka ovjeravanja.



Slika 12. Prikaz pogreške (E) i proširene mjerne nesigurnosti postupka ovjeravanja

Na slici 12. točkicama su označene pogreške vaganja (E). Uz pogreške vaganja (E) prikazani su intervali odstupanja pogreške vaganje (E). Granice tih intervala, označene sa x-evima, prikazuju proširenu mjernu nesigurnost ovjeravanja ($U_{ovjeravanje}$), odnosno parametar koji se pridružuje mjernom rezultatu kako bi se sa pouzdanošću od 95,45 % moglo tvrditi da će se svi izmjereni rezultati nalaziti unutar prikazanih granica. S druge strane, proširena mjerna nesigurnost umjeravanja ($U(E)$) trebala bi imati granice intervala puno uže od prikazanih na ovoj slici. U sljedećem poglavlju bit će prikazani rezultati postupka umjeravanja zajedno sa mjernom nesigurnošću koja se dobije tim postupkom, a nakon toga će se dodatno usporediti mjerne nesigurnosti koje su se dobile postupkom ovjeravanja i postupkom umjeravanja.

4.2. Rezultati postupka umjeravanja

4.2.1. Mjerni rezultati postupka umjeravanja

Postupak umjeravanja ima znanstveniji pristup određivanju mjerne nesigurnosti od postupka ovjeravanja jer se postupkom umjeravanja točno definiraju svi parametri koji utječu na mjernu nesigurnost pokazivanja vage i zatim se za svaki određeni parametar računa posebno mjerna nesigurnost. Za određivanje mjernih nesigurnosti zbog pojedinih utjecajnih parametara koriste se mjerni rezultati kontrole točnosti vage, ispitivanja ponovljivosti, ispitivanja ekscentričnosti i ispitivanja vaganja koji se mogu vidjeti u sljedećoj tablici.

Tablica 17. Mjerni rezultati postupka umjeravanja

1. Kontrola točnosti				
Teret (P) (g)		Pokazivanje (I) (g)		
2100		2099,98		
2100		2100,00		
2. Ispitivanje ponovljivosti		3. Ispitivanje ekscentričnosti		
Teret P : 1000 g		Teret P : 700 g		
Mjerenje i	Pokazivanje (I_i) (g)	r.br.	Pokazivanje (I_i) (g)	
1	1000,01	1	700,01	
2	1000,00	2	700,01	
3	1000,01	3	700,00	
4	1000,01	4	700,01	
5	1000,01	5	700,01	
6	1000,01			
4. Ispitivanje vaganja				
Mjerenje i	Tara-teret T_i (g)	Ispitni teret P_i (g)	Pokazivanje (I_i) (g)	Pogreška (E) (g)
1	/	0,5	0,51	+ 0,01
2	/	500	500,01	0,00
3	/	1000	1000,00	0,00
4	/	1500	1499,99	- 0,01
5	/	2100	2099,98	- 0,02

U priloženoj tablici 17. može se vidjeti da se u postupku umjeravanja provode veoma slična ispitivanja kao i kod postupka ovjeravanja samo što se sada svi rezultati ne uspoređuju sa najvećom dopuštenom pogreškom (NDP) već se ti mjerni rezultati koriste za izračunavanje i procjenu mjerne nesigurnosti.

4.2.2. Procjena mjerne nesigurnosti umjeravanja

Kombinirana mjerna nesigurnost sastoji se od mjerne nesigurnosti zbog parametara vage i mjerne nesigurnost zbog utjecaja etalona. Prije proračuna mjerne nesigurnosti postupka umjeravanja važno je napomenuti da su neke mjerne nesigurnosti iste u cijelom području opterećenja vage dok se neke mjerne nesigurnosti povećavaju sa povećavanjem opterećenja na vagi. Prvo se pomoću izmjerenih rezultata prikazanih u tablici 17. računa mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti vage i zbog ekscentričnog opterećenja:

Mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti vage

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n I_i = \frac{1}{6} \cdot (1000,01 + 1000,00 + 1000,01 + 1000,01 + 1000,01 + 1000,01)$$

$$\bar{I} = 1000,0083 \text{ g}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (I_i - \bar{I})^2} = 0,004 \text{ g}$$

$$u_{\text{pon}} = s = 0,004 \text{ g} = 4 \text{ mg}$$

Mjerna nesigurnost zbog ponovljivosti vage za cijelo područje opterećenja vage je istog iznosa.

Mjerna nesigurnost zbog ekscentričnosti vage

$$|\Delta I_{\text{ecc},i}|_{\text{max}} = I_1 - I_i = 700,01 - 700,00 = 0,01 \text{ g}$$

$$u_{\text{eks}} = \left[|\Delta I_{\text{ecc},i}|_{\text{max}} / (2 \cdot L_{\text{ecc}} \cdot \sqrt{3}) \right] \cdot R = \left(\frac{0,01}{2 \cdot 700 \cdot \sqrt{3}} \right) \cdot R = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot R$$

Mjerna nesigurnost zbog ekscentričnosti vage ovisit će o masi tereta odnosno masi etalona R . Povećavanjem mase etalona koji se stavlja na vagu rasti će mjerna nesigurnost pokazivanja rezultata mjerenja mase etalona. Za ova mjerenja uzet će se pet referentnih masa etalona R : 0,5 g, 500 g, 1000 g, 1500 g, i 2100 g. Mjerne nesigurnosti zbog ekscentričnosti vage redom će iznositi:

$$u_{\text{eks}_0,5} = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 = 2,062 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 0,002 \text{ mg}$$

$$u_{\text{eks}_500} = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 2,062 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 2,06 \text{ mg}$$

$$u_{\text{eks}_1000} = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 4,124 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 4,12 \text{ mg}$$

$$u_{\text{eks}_1500} = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 = 6,186 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 6,19 \text{ mg}$$

$$u_{\text{eks}_2100} = 4,124 \cdot 10^{-6} \cdot 2100 = 8,66 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 8,66 \text{ mg}$$

Mjerna nesigurnost zbog pogreške pokazivanja vage

Ova mjerna nesigurnost je zadnja poznata mjerna nesigurnost koja nastaje zbog parametara vage. Računa se na sljedeći način:

$$d_0 = d_1 = 0,01 \text{ g}$$

→ za vagu PS 2100. R2 radni podjeljci su isti za svako područje opterećenja vage

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = \frac{d_0}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,01}{2 \cdot \sqrt{3}} = 2,887 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 2,89 \text{ mg}$$

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = \frac{d_1}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,01}{2 \cdot \sqrt{3}} = 2,887 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 2,89 \text{ mg}$$

Mjerna nesigurnost zbog ispravka nazivne mase etalonskog utega

Ova mjerna nesigurnost, kao i sve sljedeće mjerne nesigurnosti, mora se uzeti u obzir zbog utjecaja etalona na točnost mjerenja. S obzirom da se povećanjem mase koja se stavlja na vagu povećava mjerna nesigurnost tako će se sa povećanjem mase etalona povećavati utjecaj na sve mjerne nesigurnosti koje se računaju zbog utjecaja etalona. Opet će se uzeti pet referentnih masa etalona: 0,5 g, 500 g, 1000 g, 1500 g, i 2100 g i za svaku od njih izračunati će se mjerna nesigurnost na sljedeći način:

$$u(\delta m_c)_{0,5} = \frac{U}{k} = \frac{0,025}{2} = 0,013 \text{ mg}$$

→ ako se uzimaju podaci iz umjernice od etalona

$$u(\delta m_c)_{0,5} = \frac{Mpe}{\sqrt{3}} = \frac{0,08}{\sqrt{3}} = 0,046 \text{ mg}$$

→ ako se uzima podatak o najvećoj dopuštenoj pogreški Mpe iz tablice 8.

Rezultati mjerne nesigurnosti zbog ispravka nazivne mase etalonskog utega su sljedeći:

Tablica 18. Rezultati mjernih nesigurnosti zbog ispravka nazivne mase

Mjerna nesigurnost u ovisnosti o masi etalona	Ako se uzimaju podaci iz umjernice od etalona	Ako se uzimaju podaci o najvećoj dopuštenoj pogrešci etalona Mpe
$u(\delta m_c)_{0,5}$	0,013mg	0,046 mg
$u(\delta m_c)_{500}$	0,4 mg	1,44 mg
$u(\delta m_c)_{1000}$	0,8 mg	2,89 mg
$u(\delta m_c)_{1500} = u(\delta m_c)_{1000+500}$	1,2 mg	4,33 mg
$u(\delta m_c)_{2100} = u(\delta m_c)_{2000+100}$	1,51 mg	5,8 mg

Iz priložene tablice može se vidjeti ako se uzimaju podaci iz umjernice od etalona mogu se dobiti puno preciznije mjerne nesigurnosti zbog ispravka nazivne mase etalona. U daljnjem proračunu koristiti će se mjerne nesigurnosti dobivene iz podataka iz umjernice.

Mjerna nesigurnost zbog utjecaja uzgona

Ova mjerna nesigurnost računa se na sličan način kao i mjerna nesigurnost zbog ispravka nazivne mase. Jedina je razlika u osnovnoj formuli prema kojoj se računa mjerna nesigurnost za više referentnih masa etalona.

$$u(\delta m_B)_{0,5} = \frac{Mpe}{4 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,08}{4 \cdot \sqrt{3}} = 0,012 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_B)_{500} = \frac{Mpe}{4 \cdot \sqrt{3}} = \frac{2,5}{4 \cdot \sqrt{3}} = 0,36 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_B)_{1000} = \frac{Mpe}{4 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5}{4 \cdot \sqrt{3}} = 0,72 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_B)_{1500} = u(\delta m_B)_{1000+500} = \frac{Mpe}{4 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5 + 2,5}{4 \cdot \sqrt{3}} = 1,08 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_B)_{2100} = u(\delta m_B)_{2000+100} = \frac{Mpe}{4 \cdot \sqrt{3}} = \frac{10 + 0,5}{4 \cdot \sqrt{3}} = 1,52 \text{ mg}$$

Mjerna nesigurnost zbog utjecaja mogućeg klizanja mase

Mjerna nesigurnost zbog utjecaja klizanja mase također ovisi o masi etalonskog utega te će se povećanjem mase etalonskog utega koji se stavlja na vagu, povećavati i mjerna nesigurnost rezultata mjerenja. Rezultati mjerne nesigurnosti zbog mogućeg klizanja mase računaj se na sljedeći način:

$$u(\delta m_D)_{0,5} = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,08}{3 \cdot \sqrt{3}} = 0,015 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_D)_{500} = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} = \frac{2,5}{3 \cdot \sqrt{3}} = 0,48 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_D)_{1000} = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5}{3 \cdot \sqrt{3}} = 0,96 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_D)_{1500} = u(\delta m_D)_{1000+500} = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5 + 2,5}{3 \cdot \sqrt{3}} = 1,44 \text{ mg}$$

$$u(\delta m_D)_{2100} = u(\delta m_D)_{2000+100} = \frac{Mpe}{3 \cdot \sqrt{3}} = \frac{10 + 0,5}{3 \cdot \sqrt{3}} = 2,02 \text{ mg}$$

Mjerna nesigurnost radi djelovanja konvekcije

Mjerna nesigurnost radi djelovanja konvekcije je zadnja mjerna nesigurnost zbog utjecaja etalona. U ovom zadatku utjecaj konvekcije je zanemaren jer su utezi bili aklimatizirani odnosno bili su na istoj temperaturi kao i vaga i okoliš.

Kombinirana mjerna nesigurnost postupka umjeravanja vage

Kombinirana mjerna nesigurnost zapravo predstavlja ukupnu mjernu nesigurnost postupka umjeravanja te se računa preko izraza (22). Važno je napomenuti da će ukupna mjerna nesigurnost rasti kako raste opteretivost vage. Za odabrane karakteristične točke ispitivanja kombinirane mjerne nesigurnosti su sljedeće:

$$u(E)_{0,5} = \sqrt{\frac{u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}_{0,5}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) + u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_{\text{c}})_{0,5}}{+u^2(\delta m_{\text{B}})_{0,5} + u^2(\delta m_{\text{D}})_{0,5} + u^2(\delta m_{\text{conv}})}} = \sqrt{\frac{4^2 + 0,002^2 + 2,89^2}{+2,89^2 + 0,013^2 + 0,012^2 + 0,015^2}}$$

$$u(E)_{0,5} = 5,72 \text{ mg}$$

$$u(E)_{500} = \sqrt{\frac{u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}_{500}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) + u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_{\text{c}})_{500}}{+u^2(\delta m_{\text{B}})_{500} + u^2(\delta m_{\text{D}})_{500} + u^2(\delta m_{\text{conv}})}} = \sqrt{\frac{4^2 + 2,06^2 + 2,89^2}{+2,89^2 + 0,4^2 + 0,36^2 + 0,48^2}}$$

$$u(E)_{500} = 6,12 \text{ mg}$$

$$u(E)_{1000} = \sqrt{\frac{u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}_{1000}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) + u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_{\text{c}})_{1000}}{+u^2(\delta m_{\text{B}})_{1000} + u^2(\delta m_{\text{D}})_{1000} + u^2(\delta m_{\text{conv}})}} = \sqrt{\frac{4^2 + 4,12^2 + 2,89^2}{+2,89^2 + 0,8^2 + 0,72^2 + 0,96^2}}$$

$$u(E)_{1000} = 7,19 \text{ mg}$$

$$u(E)_{1500} = \sqrt{\frac{u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}_{1500}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) + u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_{\text{c}})_{1500}}{+u^2(\delta m_{\text{B}})_{1500} + u^2(\delta m_{\text{D}})_{1500} + u^2(\delta m_{\text{conv}})}} = \sqrt{\frac{4^2 + 6,19^2 + 2,89^2}{+2,89^2 + 1,2^2 + 1,08^2 + 1,44^2}}$$

$$u(E)_{1500} = 8,7 \text{ mg}$$

$$u(E)_{2100} = \sqrt{\frac{u_{\text{pon}}^2 + u_{\text{eks}_{2100}}^2 + u^2(\delta I_{\text{dig0}}) + u^2(\delta I_{\text{digL}}) + u^2(\delta m_{\text{c}})_{2100}}{+u^2(\delta m_{\text{B}})_{2100} + u^2(\delta m_{\text{D}})_{2100} + u^2(\delta m_{\text{conv}})}} = \sqrt{\frac{4^2 + 8,66^2 + 2,89^2}{+2,89^2 + 1,51^2 + 1,52^2 + 2,02^2}}$$

$$u(E)_{2100} = 10,79 \text{ mg}$$

Proširena mjerna nesigurnost postupka umjeravanja vage

Proširena mjerna nesigurnost dobiva se množenjem kombinirane mjerne nesigurnosti i faktora pokrivanja k . Faktor pokrivanja k ovisi o efektivnom broju stupnjeva slobode jer nije zadovoljen kriterij dostatne pouzdanosti. Kriterij dostatne pouzdanosti je zadovoljen ako su sve mjerne nesigurnosti tipa A temeljene na više od 10 opažanja što nije slučaj kod ispitivanja ove vage. Efektivni broj stupnjeva slobode računa se za sve odabrane karakteristične točke na sljedeći način:

$$v_{\text{eff},0,5} = \frac{u_c^4}{\sum \frac{u_i^4}{v_i}} = \frac{u(E)_{0,5}^4}{\frac{u_{\text{pon}}^4}{6-1}} = \frac{5,72^4}{\frac{4^4}{5}} = 20,9$$

→ na isti način dobije se:

$$v_{\text{eff},500} = 27,4$$

$$v_{\text{eff},1000} = 52,2$$

$$v_{\text{eff},1500} = 111,9$$

$$v_{\text{eff},2100} = 264,7$$

Iz izračunatih podataka o efektivnom broju stupnjeva slobode odabire se faktor pokrivanja k iz tablice 10. Faktori pokrivanja k za pouzdanost od 95,45 % su sljedeći:

$$k_{0,5} = 2,13$$

$$k_{500} = 2,1$$

$$k_{1000} = 2,05$$

$$k_{1500} = 2,02$$

$$k_{2100} = 2$$

Iz odabranih faktora pokrivanja k i izračunatih vrijednosti kombiniranih mjernih nesigurnosti mogu se izračunati proširene mjerne nesigurnosti na sljedeći način:

$$U(E)_{0,5} = k_{0,5} \cdot u(E)_{0,5} = 2,13 \cdot 5,72 = 12,18 \text{ mg}$$

$$U(E)_{500} = k_{500} \cdot u(E)_{500} = 2,1 \cdot 6,12 = 12,85 \text{ mg}$$

$$U(E)_{1000} = k_{1000} \cdot u(E)_{1000} = 2,05 \cdot 7,19 = 14,74 \text{ mg}$$

$$U(E)_{1500} = k_{1500} \cdot u(E)_{1500} = 2,02 \cdot 8,7 = 17,57 \text{ mg}$$

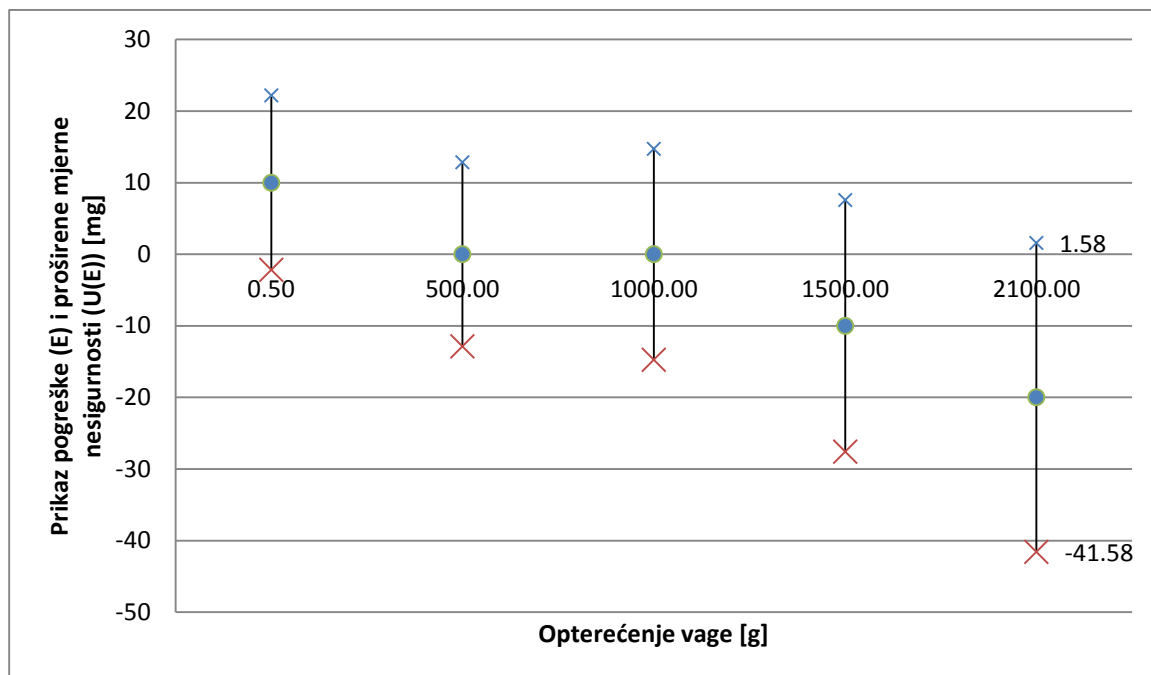
$$U(E)_{2100} = k_{2100} \cdot u(E)_{2100} = 2 \cdot 10,79 = 21,58 \text{ mg}$$

Svi rezultati postupka umjeravanja mogu se vidjeti u sljedećoj tablici:

Tablica 19. Prikaz mjernih nesigurnosti postupka umjeravanja

Veličina ili utjecaj	Opterećenje [g] Mjerna nesigurnost [mg]					Razdioba/broj stupnjeva slobode
Opterećenje [g]	0,5	500	1000	1500	2100	
Pogreška E [mg]	+ 10	0	0	- 10	- 20	
u_{pon} [mg]	4					Normalna/5
u_{eks} [mg]	0,002	2,06	4,12	6,19	8,66	Pravokutna
$u(\delta I_{\text{dig0}})$ [mg]	2,89					Pravokutna
$u(\delta I_{\text{digL}})$ [mg]	2,89					Pravokutna
$u(\delta m_c)$ [mg]	0,013	0,4	0,8	1,2	1,51	Pravokutna
$u(\delta m_B)$ [mg]	0,012	0,36	0,72	1,08	1,52	Pravokutna
$u(\delta m_D)$ [mg]	0,015	0,48	0,96	1,44	2,02	Pravokutna
$u(\delta m_{\text{conv}})$ [mg]	ne uzima se u obzir					Pravokutna
Kombinirana mjerna nesig. $u(E)$ [mg]	5,72	6,12	7,19	8,7	10,79	
v_{eff}	20,9	27,4	52,2	111,9	264,7	
k	2,13	2,1	2,05	2,02	2	
Proširena mjerna nesig. $U(E)$ [mg]	12,18	12,85	14,74	17,57	21,58	

U tablici 19. mogu se vidjeti podaci o pogrešci pokazivanja vage (E) pri stavljanju određenog opterećenja na vagu. Uz to, mogu se vidjeti sve mjerne nesigurnosti pogreške pokazivanja za različita opterećenja. Vidljivo je da su neke mjerne nesigurnosti identične za sva opterećenja, a da se neke mijenjaju u ovisnosti o promjeni opterećenja. Na dnu tablice mogu se vidjeti podaci o kombiniranoj i proširenoj mjernoj nesigurnosti koji se povećavaju sa povećanjem opterećenja vage. Važno je napomenuti kada se završi postupak umjeravanja vage izdaje se umjernica u kojoj bi se trebala navesti samo najveća vrijednost proširene mjerne nesigurnosti $U(E) = 21,58 \text{ mg}$, koja se temelji na faktoru pokrivanja $k = 2$ za $v_{\text{eff}} = 264,7$ praćena sa izjavom da je vjerojatnost pokrivanja barem 95,45 %.



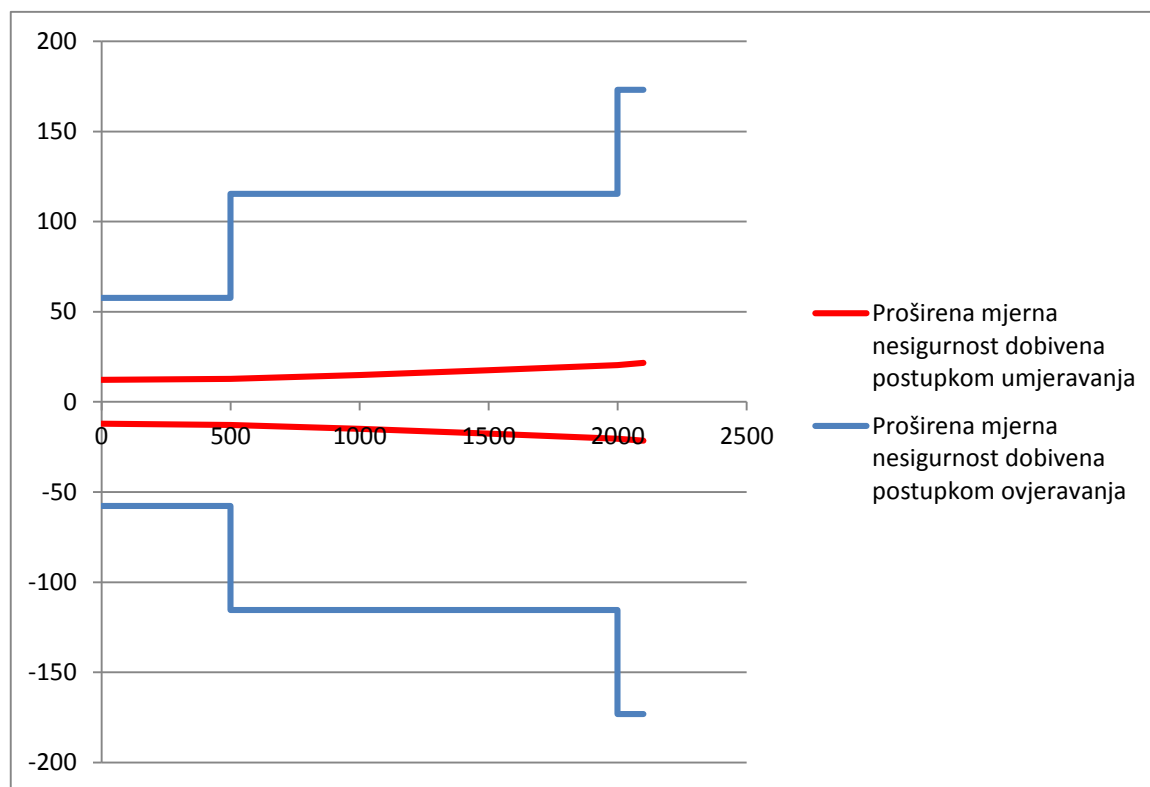
Slika 13. Prikaz pogreške (E) i proširene mjerne nesigurnosti postupka umjeravanja

Na slici 13. može se vidjeti kada se grafički prikazuje mjerna nesigurnost tada se ona prikazuje kao interval odstupanja oko pogreške vaganja (E). Isto tako iz priložene slike može se vidjeti kako se interval mjerne nesigurnosti dobivene umjeravanjem povećava sa povećavanjem opterećenja vage i najveći intarval odstupanja je od + 1,58 mg do - 41,58 mg. Promatrajući ovaj dijagram važno je reći da se sa pouzdanošću od 95,45 % može tvrditi da će se svi izmjereni rezultati mjerenja mase na ovoj vagi nalaziti unutar prikazanih intervala. U sljedećem potpoglavlju još će detaljnije biti prikazana usporedba mjerne nesigurnosti dobivene ovjeravanjem i mjerne nesigurnosti dobivene umjeravanjem.

4.3. Usporedba rezultata postupka ovjeravanja i umjeravanja

Mjerni rezultati postupka ovjeravanja i postupka umjeravanja ne mogu se uspoređivati iz razloga što se kod ovjeravanja provjerava da li su svi mjerni rezultati unutar granica propisanih najvećih dopuštenih pogrešaka (NDP) dok se kod postupka umjeravanja mjerni rezultati koriste za daljnji proračun mjerne nesigurnosti. Kod postupka ovjeravanja mjerna nesigurnost se ne računa već se izražava preko najvećih dopuštenih pogrešaka. Mjerna nesigurnost ovjeravanja zapravo na neki način prikazuje interval najvećih dopuštenih odstupanja rezultata mjerenja mase dok mjerna nesigurnost izračunata postupkom umjeravanja točno prikazuje koliko pokazivanje vage u trenutku ispitivanja može odstupati u

odnosu na izmjerenu vrijednost. Mjerna nesigurnost umjeravanja se znanstveno proračunava i uzimaju se u obzir svi znani parametri koji utječu na nju. Na sljedećoj slici prikazana je teorijska usporedba mjernih nesigurnosti dobivenih postupkom ovjeravanja i postupkom umjeravanja.



Slika 14. Usporedba proširenih mjernih nesigurnosti postupaka ovjeravanja i umjeravanja

Na priloženoj slici može se vidjeti teorijska usporedba procijenjenih mjernih nesigurnosti postupaka ovjeravanja i umjeravanja. Teorijska usporedba se odnosi na savršen slučaj kada vaga i u jednom i u drugom postupku ispitivanja nebi imala pogrešku vaganja ($E = 0$), odnosno kada bi za sva mjerenja nazivna masa tereta bila istog iznosa kao i pokazivanje vage. U tom savršenom slučaju mogle bi se usporediti mjerne nesigurnosti kako je prikazano na slici 14. Prikazani rezultati procijenjenih mjernih nesigurnosti ovjeravanja i umjeravanja su logički i ispravni. Mjerna nesigurnost umjeravanja dobivena je proračunom i kao takva mora biti preciznija i točnija od mjerne nesigurnosti koja se procjenila u postupku ovjeravanja i koja se procjenjivala na osnovu najvećih dopuštenih pogrešaka (NDP) koju vaga smije pokazivati pri vaganju određenog opterećenja.

5. ZAKLJUČAK

Kako bi mjerenja mase bila što točnija i preciznija, mjerna oprema s kojom se mjeri masa mora biti pravilno ispitana u ovisnosti u kojem području mjeriteljstva će se vršiti mjerenja. Ako će se mjerenja mase provoditi u području zakonskog mjeriteljstva u svrhu kupoprodaje robe, izračunavanja carina, poreza, cestarina, sankcija, itd., tada mjerila mase moraju proći postupak ispitivanja koji se zove ovjeravanje. U postupku ovjeravanja provode se ispitivanja mjerila mase gdje se svi mjerni rezultati ispitivanja uspoređuju sa propisanim najvećim dozvoljenim pogreškama (NDP). Ako su svi rezultati unutar najvećih dozvoljenih pogrešaka (NDP), tada se vaga smatra ovjerenom i može se koristiti u području zakonskog mjeriteljstva. S druge strane, postupak umjeravanja je postupak ispitivanja mjerila mase u području tehničkog mjeriteljstva. Postupkom umjeravanja dobiva se točno proračunata mjerna nesigurnost koja korisniku vage daje informaciju da li ispitivano mjerilo može dati dovoljno kvalitetne rezultate u procesu u kojem će se koristiti. Mjerilo mase koje je samo umjereno nikada se ne smije koristiti za bilo koji oblik trgovačkog poslovanja, dok se samo ovjereno mjerilo mase može koristiti i u području zakonskog mjeriteljstva i u području tehničkog mjeriteljstva samo je pitanje da li to mjerilo mase može iskazivati dovoljno kvalitetne rezultate u nekom industrijskom procesu u kojem će se koristiti. Cilj ovog diplomskog rada bio je opisati i usporediti postupke ovjeravanja i umjeravanja te na jednoj neautomatskoj preciznoj vagi tipa PS 2100. R2 proizvođača RADWAG provesti oba postupka ispitivanja. Rezultati provedenih ispitivanja su zadovoljavajući. Postupkom ovjeravanja ustvrdilo se da su svi dobiveni mjerni rezultati unutar propisanih najvećih dopuštenih pogrešaka i time je zaključeno da bi ta vaga prošla postupak ovjeravanja. S druge strane, dobiveni rezultati umjeravanja analiziraju se preko proračunate mjerne nesigurnosti u području opterećenja vage. Ti rezultati u nekim industrijskim procesima mogu biti zadovoljavajući, ali i ne moraju iz razloga što to ovisi samo o kvaliteti procesa koju korisnik vage želi postići. U ispitivanjima je jedino moguće usporediti mjernu nesigurnost procenjenju u postupku ovjeravanja i izračunatu u postupku umjeravanja te zaključiti ako su izračunate vrijednosti mjernih nesigurnosti postupka umjeravanja unutar područja kojeg zatvaraju granice mjernih nesigurnosti ovjeravanja, tada je najvjerojatnije da su rezultati ispravni i točni. Da su kojim slučajem mjerne nesigurnosti dobivene umjeravanjem veće od mjernih nesigurnosti dobivenih ovjeravanjem, tada bi se rezultati ispitivanja smatrali neispravnima i netočnima.

LITERATURA

- [1] Europska organizacija nacionalnih mjeriteljskih (EUROMET): *Mjeriteljstvo ukratko*, 3. izdanje, Zagreb, 2015.
- [2] Europski parlament i vijeće: *Directive 2014/31/EU*, 2014.
- [3] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_75_1515.html
- [4] Državni zavod za mjeriteljstvo (DZM): *Priručnik za ovjeru neautomatskih vaga*, Zagreb, 2010.
- [5] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_03_21_594.html
- [6] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_06_74_1391.html
- [7] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_09_113_2863.html
- [8] Međunarodna organizacija za zakonodavno mjeriteljstvo (OIML): *Međunarodni dokument OIML R 76-1*, Francuska, 2006.
- [9] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/481009/NAWI_Guidance_Version_6_December_2015.pdf
- [10] Europska organizacija nacionalnih mjeriteljskih (EUROMET): *Upute za umjeravanje neautomatskih vaga*, DZM, Zagreb, 2007.
- [11] Međunarodna organizacija za zakonodavno mjeriteljstvo (OIML): *Međunarodni dokument OIML R 111-1*, Francuska, 2004.
- [12] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM): *Vrednovanje mjernih podataka – Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti*, DZM, Zagreb, 2009.
- [13] Davidson S., Perkin M., Buckley M.: *The Measurement of Mass and Weight*, NPL - National Physical Laboratory, 2004.
- [14] <http://www.zakon.hr/z/699/Zakon-o-mjeriteljstvu>
- [15] <http://radwag.com/en/ps-2100-r2-precision-balance,w1,447,401-101?PHPSESSID=b9ae242a114390d86f62100a01dd0106#5>
- [16] Hrvatski zavod za norme (HZN): *Norma HRN EN ISO/IEC 17025: „Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija“*, Zagreb, 2007.
- [17] Hrvatski zavod za norme (HZN): *Norma HRN EN ISO/IEC 17020: „Ocjenjivanje sukladnosti - Zahtjevi za rad različitih vrsta tijela koja provode inspekciju“*, Zagreb, 2012.
- [18] Hrvatski zavod za norme (HZN): *Norma HRN EN 45501: „Mjeriteljski aspekti neautomatskih vaga“*, Zagreb, 2015.